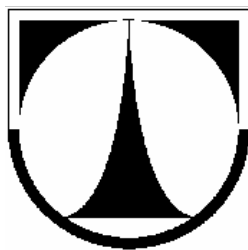


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů



Bc. Ondřej Kohl

Pružící podstavec sanitního lehátka s integrovaným tlumením

Diplomová práce

Liberec 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra částí a mechanismů strojů



Obor 3909T
Inovační inženýrství

Zaměření
INOVACE VÝROBKU

**Pružicí podstavec sanitního lehátka
s integrovaným tlumením**

Springing Support of Ambulance Couchette
with Integrated Shock Absorber

Diplomová práce

Bc. Ondřej Kohl

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.
Konzultant diplomové práce: Roman Netrefa

Počet stran: 55
Počet obrázků: 29
Počet grafů: 12
Počet tabulek: 6
Počet příloh: 10

Originál zadání DP



Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 20.5.2011

.....
podpis



Pružící podstavec sanitního lehátka s integrovaným tlumením

Anotace

Tento projekt se zabývá inovací podstavce sanitního lehátka, která spočívá v integraci pružících a tlumících prvků do vodícího mechanismu za účelem ochrany proti vibracím a zvýšení komfortu přepravovaného pacienta. Výsledný koncept byl zvolen na základě rozboru pěti možných variant řešení. Vybrané řešení, i přes značná prostorová omezení, zasahuje pouze minimálně do stávající konstrukce lehátka. Mechanismus je vybaven pneumatickým řízením nastavení výšky plošiny - ventilem, který umožňuje měnit tuhost soustavy a nastavitelným tlumičem, kterým lze nastavit hodnotu útlumu soustavy.

Klíčová slova: vibroizolace, mechanismus, tlumení, pneumatika

Springing Support of Ambulance Couchette with Integrated Shock Absorber

Annotation

This project is dealing with innovation support of ambulance couchette that consist in integration of springing mechanism into one shoulder of the support for increasing comfort of transported inmate. Resulting draft has been chosen on the basis of analysis five possible variants of solving. The chosen solution, considering space limitation, only minimally intervenes in cusrrent construction of couchette. Mechanism has been provided with pneumatic drive for setting the height of couchette - valves that make it possible to change stiffness of the system and adjustable inhibitor that enables to set value of attenuation of the system.

Keywords: Vibration-Insulation, mechanism, control, pneumatic



Poděkování

Je mou milou povinností poděkovat panu Prof. Ing. Lubomíru Pešíkovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, a panu Romanu Netrefovi, konzultantovi diplomové práce z firmy Progres Servis Sibřina, spol. s r.o., za hodnotné rady a odborné vedení. Dále chci poděkovat Mgr. Marii Bittnarové za korekci textu, mé rodině za podporu nejen při tvorbě této diplomové práce, ale zejména za podporu během celého dosavadního studia.

Diplomová práce vznikla za podpory Studentské grantové soutěže na Fakultě strojní TU v Liberci.

V Trutnově 20.5.2011

autor



Předmluva

Přeprava pacientů se uskutečňuje obvykle na lehátku sanitního vozidla. Tato diplomová práce se zabývá potřebou snížení přenosu vibrací na tělo transportovaného pacienta. Většina moderních sanitních vozidel je vybavena pneumatickým nastavením výšky podvozku, které současně vykonává pružení. V případě transportu pacienta jsou i utlumené vibrace pro pacienta nepříjemné. Z toho důvodu se provádí dodatečná vibroizolace samotného lehátka. V uvedeném textu je popis možného konstrukčního řešení vibroizolačního systému podstavce sanitního lehátka, jehož tuhost lze snadno naladit podle provozních podmínek pomocí přídavného objemu.

Zadavatel zkoušel ještě před vývojem v rámci TUL realizovat pružení sám tak, že využil vzduchu v hydraulickém okruhu. Pružení bylo docíleno, ale bylo obtížně říditelné. Samotný vzduch musel být v kombinaci s hydraulickým olejem vysoce stlačen a přítomnost vzduchu v oleji způsobovala jeho pění. Celková koncepce byla nevhodná, nastavení dynamických parametrů bylo špatné a to zapříčiňovalo nevolnost přepravovaného pacienta. Proto bylo od tohoto způsobu tlumení vibrací upuštěno.

TUL se problémem vibroizolace podstavce lehátka zabývá několik let. V první etapě vývoje, na kterou tato diplomová práce navazuje, bylo rozhodnuto, že mechanismus vibroizolace bude umístěn v pevném rameni podstavce. Tato aplikace je správnou cestou k úspěšnému řešení problému tlumení vibrací této soustavy, ovšem měřeními se prokázalo, že použité pružiny Dunlop 2,75x3“ nejsou dostatečně únosné, celková tuhost soustavy je příliš vysoká a tlumení nebylo řešeno vůbec. Navázáním na první etapu vývoje se budou řešit tyto nedořešené oblasti konceptu.



Obsah

Obsah obrázků, tabulek a grafů	9
Obrázky	9
Tabulky	9
Grafy	10
Seznam symbolů, veličin a jednotek.....	11
Seznam symbolů, veličin a jednotek.....	11
1 Zadavatel.....	13
1.1 Aktivita firmy je možné rozdělit do tří základních skupin:	13
1.1.1 Obchodní aktivity	13
1.1.2 Servisní aktivity	13
1.1.3 Výrobní aktivity	13
2 Plánování inovace.....	14
2.2 Inovační záměr	14
2.3 Zhodnocení inovačního záměru	14
2.4 Plán zdrojů.....	14
2.5 Harmonogram.....	14
2.6 Inovační prohlášení	15
3 Stávající konstrukce.....	16
3.1 Základní rám.....	16
3.2 Vodicí mechanismus	16
3.3 Stůl lehátka	17
4 Inovace	18
4.1 Požadavky zákazníka, normy	18
4.1.1 Identifikace zákaznických potřeb	18
4.1.2 Afinní diagram	18
4.1.3 Stanovení relativní významnosti.....	19
4.2 Stanovení cílové výrobní specifikace (QFD)	20
4.2.1 Rozpad zákaznických potřeb	20
4.2.2 House of Quality	21
4.3 Generování variant výrobků a výběr řešení pro vlastní realizaci.....	22
4.3.1 Systémový přístup.....	22
4.3.2 Varianta A.....	22
4.3.3 Varianta B	23
4.3.4 Varianta C	23
4.3.5 Varianta D.....	24
4.3.6 Varianta E	24
4.3.7 Detailní rozhodování mezi koncepty	25



4.4 FMEA	25
5 Mechanický model	27
5.1 Kinematika podstavce	29
5.2 Dynamika podstavce	30
6 Optimalizace parametrů	34
6.1 Pružící parametry.....	34
6.2 Nastavení tlumení soustavy.....	44
6.3 Řízení nastavení statické výšky.....	48
6.3.1 Varianta I	48
6.3.2 Varianta II	49
6.3.3 Varianta III.....	49
6.3.4 Přívod stlačeného vzduchu	49
7 Ekonomické zhodnocení.....	51
8 Závěr.....	52
Seznam použité literatury	53
Seznam příloh	54

Obsah obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obr. 1: Základní rám.....	16
Obr. 2: Ramena (vlevo naklápěcí)	16
Obr. 3: Umístění ozubených segmentů a lineárního hydromotoru.....	16
Obr. 4: Uspořádání lineárního hydromotoru v naklápěcím rameni	17
Obr. 5: Pohyblivé uchycení stolu na ramenech	17
Obr. 6: Vysunutí stolu podstavce.....	17
Obr. 7: Čtvrtý krok vývoje afinního diagramu zákaznických potřeb	19
Obr. 8: První korelační matice metody QFD úlohy podstavce lehátka	21
Obr. 9: Devět obrazů – Analýza objektu v čase	22
Obr. 10: Model varianty A.....	22
Obr. 11: Model varianty B.....	23
Obr. 12: Model varianty C.....	23
Obr. 13: Model varianty D.....	24
Obr. 14: Model varianty E	24
Obr. 15: Model původního mechanismu	27
Obr. 16: Model první etapy vývoje.....	28
Obr. 17: Model sestavy lehátka – varianta E	28
Obr. 18: Mechanický model sestavy lehátka - minimální provozní výška.....	29
Obr. 19: Mechanický model sestavy lehátka - maximální provozní výška.....	29
Obr. 20: Vibroizolační rameno – varianta E se souřadným systémem.....	30
Obr. 21: Naklápěcí rameno se souřadným systémem.....	31
Obr. 22: Plošina lehátka.....	31
Obr. 23: Rozměry pružiny Dunlop 4,5“x2	35
Obr. 24: Schéma měření charakteristiky pneumatické pružiny	36
Obr. 25: Schéma pro výpočet zatížení pružiny.....	38
Obr. 26: Schéma měření tlumení tlumičů.....	46
Obr. 27: Varianta I; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny.....	48
Obr. 28: Varianta II; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny ...	49
Obr. 29: Varianta III; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny ..	50

Tabulky

Tab. 1: Interpretace zákaznických potřeb	18
Tab. 2: Relativní významnost zákaznických potřeb	19
Tab. 3: Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů.....	25
Tab. 4: Převodové funkce	30
Tab. 5: Fyzikální vlastnosti částí lehátka nutných k dynamické analýze	31
Tab. 6: Základní parametry pružiny.....	34



Grafy

Graf 1: Objem pružiny Dunlop 4,5“x2	35
Graf 2: Charakteristika pružiny Dunlop 4,5“x2 při počátečním přetlaku 3 bar	37
Graf 3: Efektivní plocha pružiny Dunlop 4,5“x2 při počátečním přetlaku 3 bar	37
Graf 4: Závislost posuvného zrychlení na čase - nezatížené, nahoře	40
Graf 5: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, nahoře	41
Graf 6: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, dole	41
Graf 7: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, nahoře, V+	42
Graf 8: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, dole, V+	43
Graf 9: Zatěžovací charakteristika podstavce lehátka nahoře; před a po optimalizaci..	43
Graf 10: Zatěžovací charakteristika podstavce lehátka dole - před a po optimalizaci .	44
Graf 11: Průběh zrychlení při rezonanci.....	45
Graf 12: Charakteristika tlumiče SUSPA 011 00378 při rychlosti $v_{tl_test} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$..	47



Seznam symbolů, veličin a jednotek

Symbol	Význam	Jednotky
f_N	Vlastní frekvence kmitání plošiny	Hz
i	Počet stupňů volnosti	°
n_m	Počet prvků mechanismu	-
r	Počet rotačních vazeb	-
p	Počet posuvných vazeb	-
v	Počet valivých vazeb	-
o	Počet obecných vazeb	-
z	Rozsah kmitání plošiny	mm
z_N	Výška plošiny	mm
$z_{N\max}$	Maximální výška plošiny	mm
E	Celková kinetická energie	J
m	Hmotnost	kg
\vec{v}	Posuvná rychlost	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Ω	Referenční bod	-
ω	Úhlová rychlost	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
$\vec{\rho}$	Radius vektor	mm
J	Moment setrvačnosti	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
q	Obecná souřadnice	°, rad, mm
m_{red}	Obecná redukovaná hmota	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$; kg
z_t	Zdvih tlumiče	mm
z_p	Zdvih pružiny	mm
p_p	přetlak	bar
F_N	Zatížení stolu	N
F_p	Zatížení pružiny	N
p_a	Atmosférický tlak	N
V_0	Objem pneumatické pružiny ve statické výšce	dm^3
V	Objem pneumatické pružiny	dm^3
S	Efektivní plocha pneumatické pružiny	cm^2
U	Ukazatel efektivní plochy	cm
i_m	Převod mechanismu	-
i_{mt}	Převod pružina/tlumič	-
k_p	Tuhost pružiny	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
k_N	Tuhost mechanismu	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
f_p	Vlastní frekvence kmitání pneumatické pružiny	Hz
g	Gravitační zrychlení	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
T	Perioda kmitání	s
V_+	Přídavný objem	dm^3



v_{tl}	Rychlost pohybu tlumiče	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
b	Součinitel tlumení	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}$
n	Polytropický exponent	-



1 Zadavatel

Progres Servis Sibřina, spol. s r.o. je držitelem certifikátu ČSN EN ISO 9001:2001 a je ryze soukromá firma, která operuje na českém trhu již od r. 1990 a je jak firmou obchodní, tak i výrobní. Firmu naleznete ve vlastních prostorech v obci Sibřina na okraji Prahy. Ve firmě pracuje 35 zaměstnanců.

1.1 Aktivity firmy je možné rozdělit do tří základních skupin:

1.1.1 Obchodní aktivity

- signalizační světelné a zvukové zařízení firmy FEDERAL SIGNAL VAMA
- záchranářská technika fy. FERNO USA pro Českou a Slovenskou republiku
- vestavby do servisních vozidel SYNCRO SYSTÉM
- olejové hospodářství SAMOA a DEUTSCHE TECALEMIT
- gastronomická zařízení BLANCO

1.1.2 Servisní aktivity

S obchodní činností je samozřejmě spojena záruční a pozáruční servisní činnost na výrobky námi zastupovaných firem. Zároveň zajišťujeme servis i na další značky zařízení, používaných našimi zákazníky.

1.1.3 Výrobní aktivity

- výroba komponentů pro sanitní vozidla
- výroba stolků a vozíků pro lékařské přístroje
- výroba požárních vozidel
- zástavby užitkových vozidel všech typů pro různé účely (např. pojízdné dílny, kanceláře, laboratoře, apod.), podle přání jednotlivých zákazníků
- instalace signalizačního zařízení
- zakázková výroba vybavení pro hotely
- kovovýroba z oceli, hliníku a nerezů

[1]



2 Plánování inovace

2.2 Inovační záměr

Navrhněte a posléze aplikujte vhodné vibroizolační prvky do podstavce sanitního lehátka. Následně proveďte správné naladění dynamické soustavy tak, aby vykonávala svou činnost správně. Vše vykonávejte s ohledem na složitost, cenovou nákladnost, složitost montáže a údržby a v neposlední řadě na životnost.

2.3 Zhodnocení inovačního záměru

Na trhu existuje jistá skupina výrobců, která vyrábí funkční polohovatelná lehátka. Zda jsou lehátka nebo jeho části odpružené neuvádějí, nebo výrobci těchto lehátek své know-how tají. Žádné nákresy, schémata, či fotografie mechanismu pružení nejsou k dispozici.

Při příznivém poměru ceny a kvality by mohl být projekt úspěšný, a proto bude tato inovace pokračovat do fáze zhotovení výrobní dokumentace, ze které lze posoudit finanční náročnost. Měl by být zhotoven funkční prototyp pro odzkoušení správné funkčnosti.

2.4 Plán zdrojů

Jediným stálým zdrojem je řešitel zadaného projektu, který na sebe v průběhu projektu váže jiné zdroje, jak vyplývá z harmonogramu.

2.5 Harmonogram

Aby bylo dosaženo hladkého průběhu tvorby této diplomové práce a byl splněn termín jejího odevzdání, byl vytvořen harmonogram k datu odevzdání, tj. 30.5. 2011. Z hlediska rozsahu a velikosti diagramu je harmonogram vyřazen z textu a včetně soupisu jednotlivých úkolů je vložen do přílohy této DP.



2.6 Inovační prohlášení

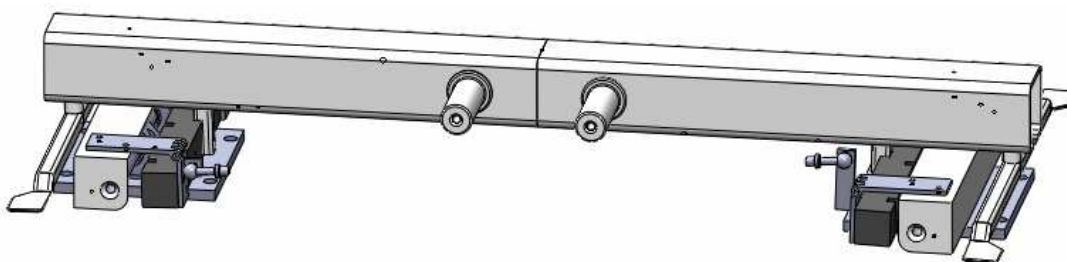
Klíčový přínos	Vibroizolační uložení sanitního lehátka, které poskytne pacientům vyšší komfort a bezpečnost při transportu sanitním vozem.
Klíčové obchodní cíle	Firmy zabývající se stavbou sanitních speciálních vozidel.
Primární trh	Tuzemské a zahraniční ambulance, nemocnice, nemocniční zařízení, popřípadě soukromé firmy zajišťující transport pacientů sanitními vozy.
Sekundární trh	Vojenská zdravotní služba, Horská služba,...
Předpoklady a omezení	Údržba mechanismu zaručující správnou funkci. Nutná podpora funkce zásobníkem stlačeného vzduchu, či kompresorem.
Účastníci inovačního procesu	Bc. Ondřej Kohl, Prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.

3 Stávající konstrukce

Pružící podstavec je tvořen základem, dvěma rameny, plošinou a dalšími doplňujícími částmi jako jsou ozubené segmenty, lineární hydromotory, vedení, atp.

3.1 Základní rám

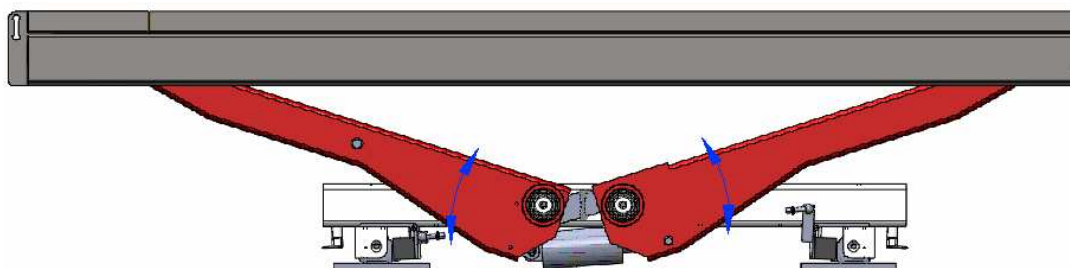
Základní rám (viz obr. 1) je upevněn k podlaze sanitního vozidla. Desky, které jsou s podlahou přímo spojeny, jsou k rámu uchyceny posuvným vedením, které umožňuje omezený posuv celého podstavce na obě strany. Tento pohyb je umožněn po uvolnění stupně volnosti stlačením jednoho ze čtyř pedálů, které ovládají tzv. brzdné segmenty.



Obr. 1: Základní rám

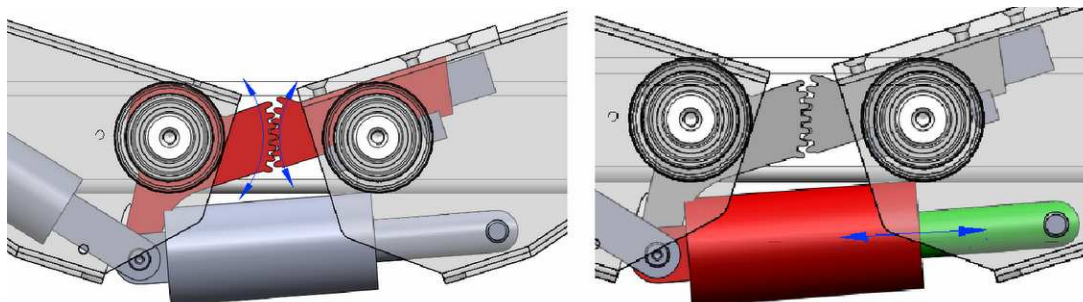
3.2 Vodicí mechanismus

Na čepy rámu jsou nasunuta dvě ramena (viz obr. 2). Každé rameno obsahuje pár pouzder, do nichž jsou nasunuta kuličková ložiska, která umožňují tichý rotační pohyb obou ramen. Tato ramena jsou kinematicky spojena párem ozubených segmentů.



Obr. 2: Ramena (vlevo naklápěcí)

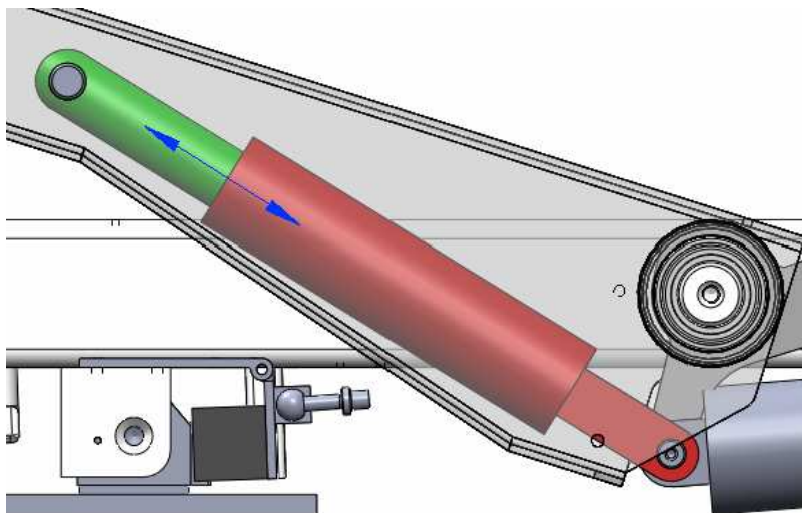
Zdvih ramen je zajištěn jedním lineárním hydromotorem (viz obr. 3). Ten je umístěn pod otočnými čepy. Jeho umístění není vhodné, neboť musí přenášet vysoké síly, aby konal pohyb a to zejména z dolní polohy plošiny, ale to není tématem této práce.



Obr. 3: Umístění ozubených segmentů a lineárního hydromotoru

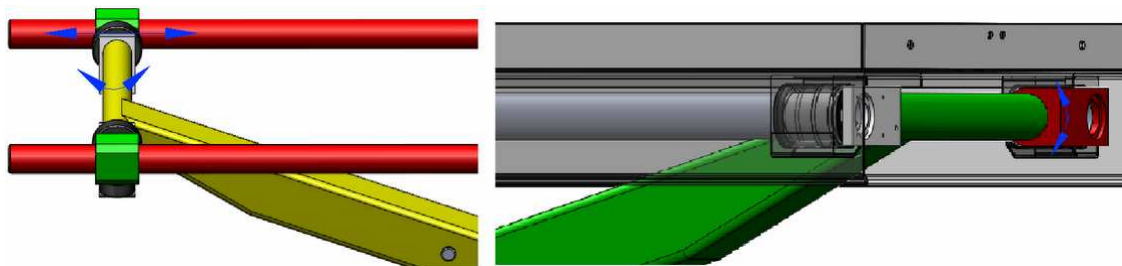
Jeden ozubený segment je s pevným ramenem nepohyblivě spojený. Lze jím pouze nastavit osovou vzdálenost obou ozubených segmentů a tak vymezit jejich zubovou vůli.

Naklápění je umožněno druhým lineárním hydromotorem. S tímto ramenem není ozubený segment pevně spojen, otáčí se okolo stejné osy jako samotné rameno, aby bylo umožněno naklápění ramene (viz obr. 4).



Obr. 4: Uspořádání lineárního hydromotoru v naklápěcím rameni

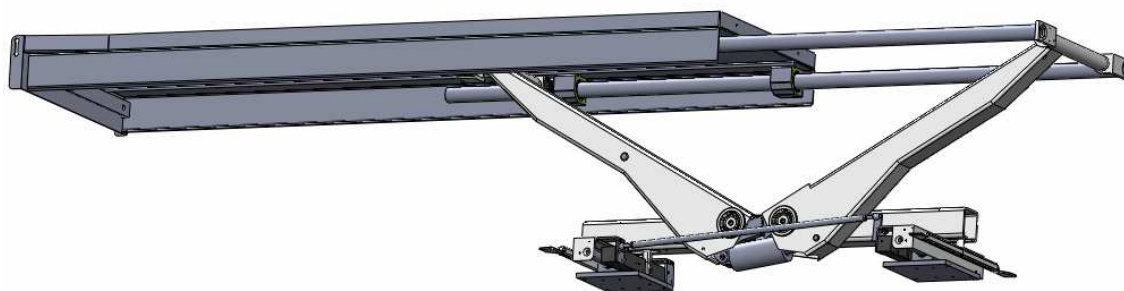
Uchycení stolu lehátka je provedeno na pevném rameni otočně a na naklápěcím rameni posuvně a otočně zároveň pomocí lineárního kuličkového vedení (viz obr. 5). Toto uspořádání zajišťuje svislý pohyb a naklápění stolu (viz mechanický model).



Obr. 5: Pohyblivé uchycení stolu na ramenech

3.3 Stůl lehátka

Uložení stolu lehátka je provedeno valivým vedením. Toto vedení umožňuje kromě zmíněných pohybů také vysunutí stolu lehátka (viz obr. 6). Vysunuté lehátko slouží k ulehčení naložení a vyložení pacienta.



Obr. 6: Vysunutí stolu podstavce



4 Inovace

Na základě měření únosnosti prototypu vyrobeného v první etapě vývoje a rozboru zástavbového prostoru byly nástroji inovačního inženýrství generovány varianty řešení, které splňují požadavky zákazníka vycházející z metody QFD.

Jelikož se v první etapě vývoje jednalo zejména o průzkum možností umístění vibroizolačních členů, nebylo posléze řešeno správné nastavení pružících vlastností a tlumení nebylo řešeno vůbec. V této druhé etapě bude vynaloženo úsilí k vyřešení zmíněných problémů a to s tím, že by měla být zachována koncepce ze zmíněné první etapy vývoje.

4.1 Požadavky zákazníka, normy

Cílem je dosáhnout co nejvyššího utlumení zbývajících vibrací. Zařízení by mělo při přiblížení pohybu nosiče lehátka k vlastní frekvenci vibroizolačního mechanismu soustavy vykazovat nižší amplitudu, než buzení. Vibroizolační prvky budou navrženy tak, že bude zákazníkovi umožněno zakoupit lehátko bez vibroizolace a posléze se jí může podstavec dovybavit. Tlumení pružení by mělo fungovat tak, že po rozkmitání a ukončení buzení vykoná sestava několik zmenšujících se kmitů až dojde k zastavení kmitání. V jakékoliv dovolené provozní poloze podstavce nesmí docházet ke kolizím s jeho jinými částmi. Úpravy ostatních částí podstavce by měly být minimální nebo žádné.

4.1.1 Identifikace zákaznických potřeb

Ke sběru dat od zákazníka byl uskutečněn rozhovor na toto téma a z něj vyplynuly nejdůležitější vlastnosti (viz tab. 1), které by vibroizolační zařízení mělo splňovat.

Tab. 1: Interpretace zákaznických potřeb

Vlastnost
Nízká hmotnost
Možnost seřízení
Snadný servis
Snadné ovládání
Mechanická odolnost
Možnost dodatečné montáže
Nízká cena
Jistá míra automatizace
Zajištěna bezpečnost
Tichý provoz

4.1.2 Afinní diagram

Uspořádání zákaznické potřeby logicky podle významnosti.

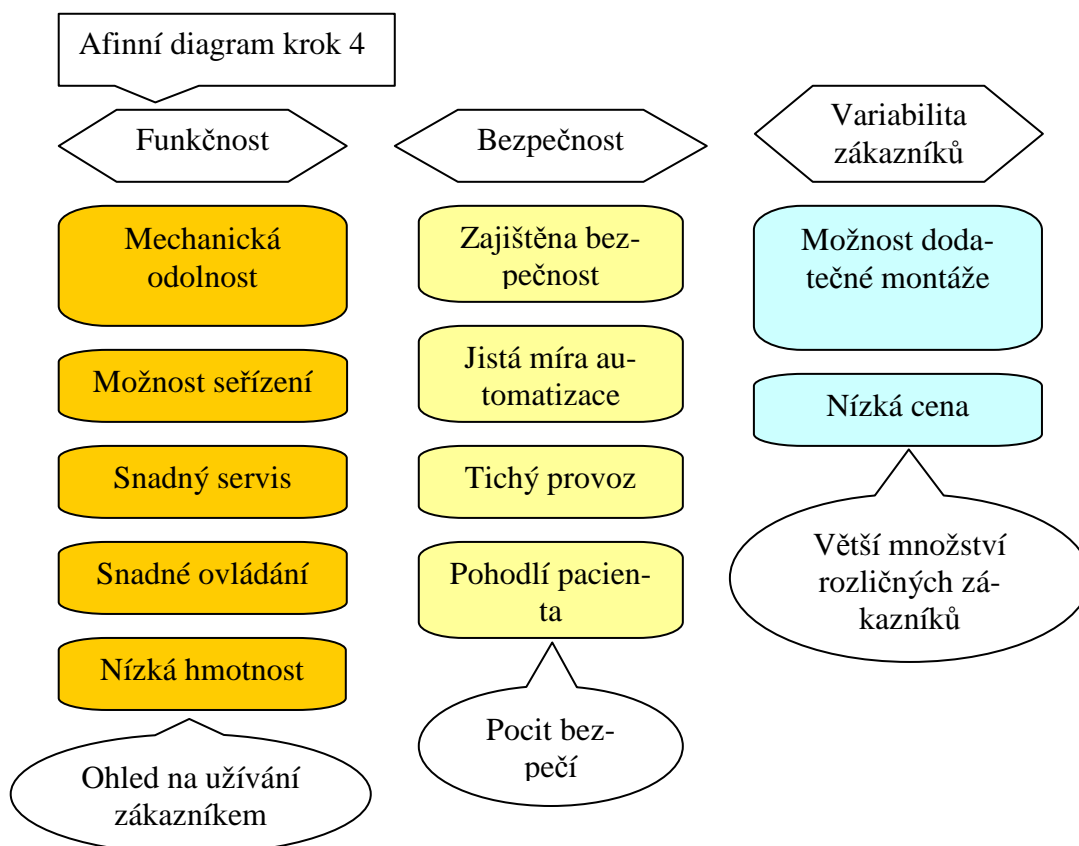
Krok 1. – sepsání potřeb

Krok 2. – hrubé seskupení potřeb

Krok 3. – seskupení potřeb do jednotlivých úzkých specifikací

Krok 4. – seskupení potřeb do základních specifikací (viz obr. 7)

Vývoj afinního diagramu je v příloze této DP



Obr. 7: Čtvrtý krok vývoje afinního diagramu zákaznických potřeb

4.1.3 Stanovení relativní významnosti

Stanovení relativní významnosti potřeb zákazníka bude hodnoceno následovně:

1. Po této vlastnosti výrobku netoužím, neuvažoval bych o výrobku s podobnou vlastností
2. Tato vlastnost pro mne není významná, ale nevadilo by mi ji mít
3. Bylo by pěkné, aby tuto vlastnost výrobek měl, ale není to nutné
4. Tuto vlastnost výrobku bych velice ocenil, ale mohl bych uvažovat i o výrobku bez této vlastnosti
5. Kritická vlastnost - o výrobku bez ní nebudu vůbec uvažovat

Tab. 2: Relativní významnost zákaznických potřeb

č.	Potřeba	Relativní významnost
1	Mechanická odolnost	2
2	Možnost seřízení	5
3	Snadný servis	3
4	Snadné ovládání	4
5	Nízká hmotnost	2
6	Zajištění bezpečnosti	3
7	Jistá míra automatizace	4
8	Tichý provoz	2



9	Možnost dodatečné montáže	5
10	Nízká cena	3
11	Pohodlí pacienta	5

4.2 Stanovení cílové výrobní specifikace (QFD)

4.2.1 Rozpad zákaznických potřeb

Rozpad potřeb bude proveden jen u potřeb dostatečně nevypovídajících:

Mechanická odolnost.

Možnost seřízení.

Seřízení mechanismu dopouštění a vypouštění vzduchu pružiny.

Snadný servis.

Snadná údržba.

Dlouhá doba mezi údržbou.

Krátký čas na údržbu.

Opravitelnost.

Dobrá rozebíratelnost.

Dobrá dostupnost dílů.

Snadné ovládání.

Přístup a provedení ovládacích prvků.

Nízká hmotnost.

Zajištění bezpečnosti.

Elektrická bezpečnost.

Bezpečnost pneumatických prvků.

Jistá míra automatizace.

Automatické udržování výšky pružiny při změně velikosti zatížení plošiny.

Tichý provoz.

Zamezení vzniku nežádoucích zvuků.

Možnost dodatečné montáže.

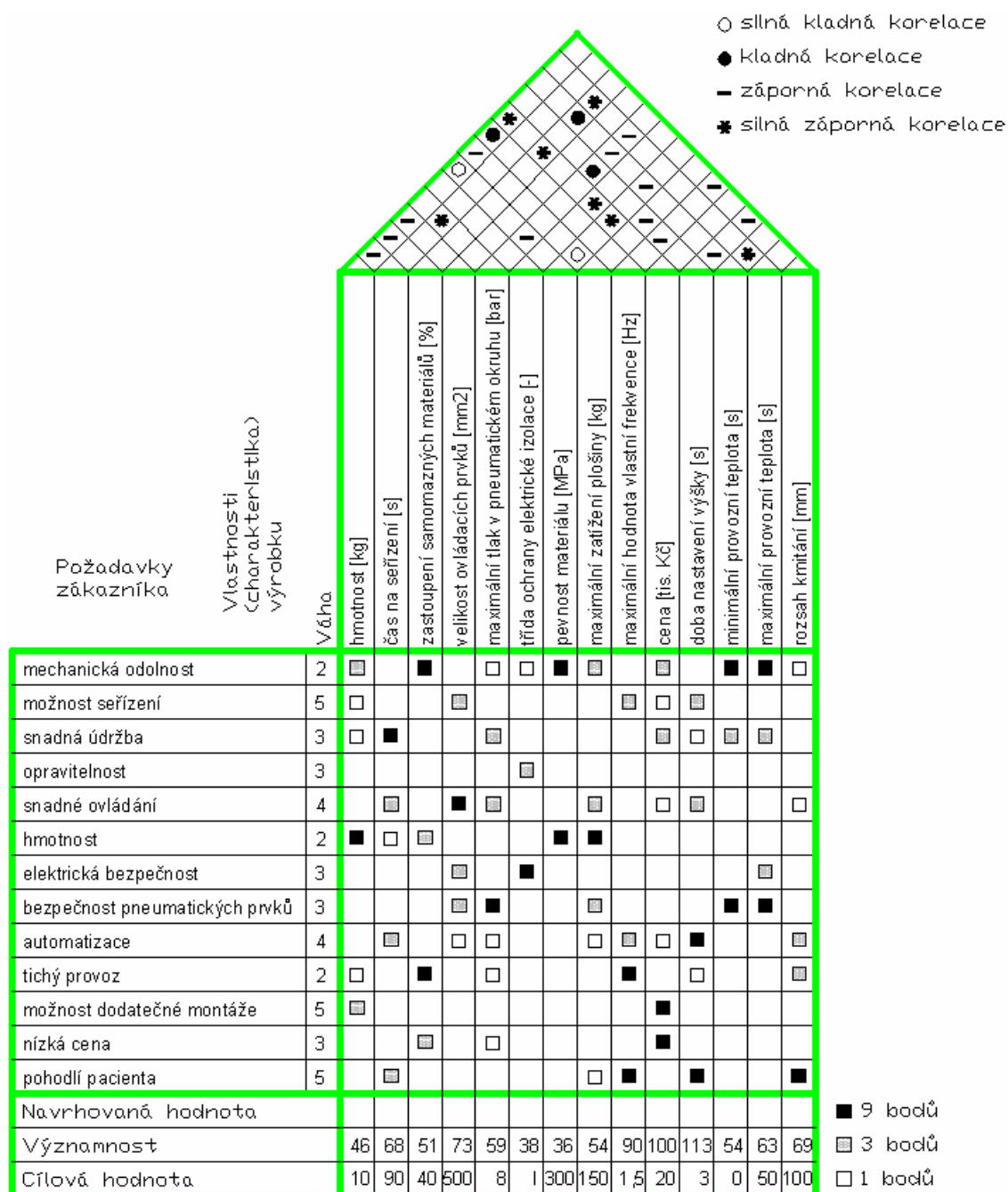
Upravení ramene tak, aby bylo možné snadno namontovat dodatečně vibroizolaci.

Nízká cena.

Pohodlí pacienta.

4.2.2 House of Quality

Jedná se o zahrnutí zákaznicka hlasu již do fáze navrhování a plánování výrobku. Využívá se principu korelačních matic (viz obr. 8)



Obr. 8: První korelační matice metody QFD úlohy podstavce lehátka

4.3 Generování variant výrobků a výběr řešení pro vlastní realizaci

4.3.1 Systémový přístup

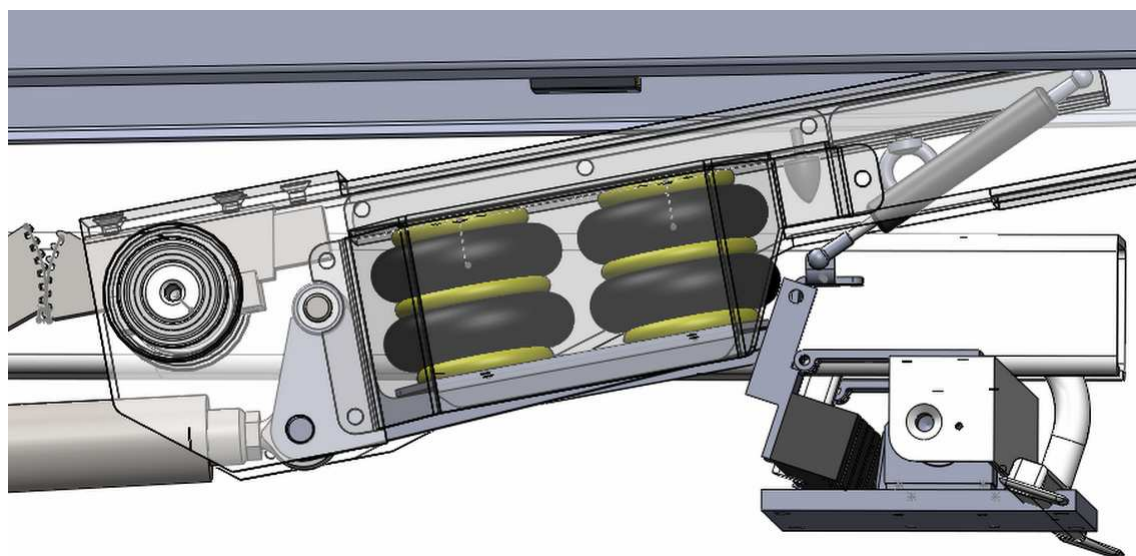
K této analýze se využívá tzv. devíti obrazů. Jedná se o analyzování v čase (minulém, současném, budoucím). Sledujeme objekt – pozorovaný systém, jeho nadsystém a podsystém (viz obr. 9).

	Minulost	Současnost	Budoucnost
Nadsystém	Kočár, nákladní auto, sanita	Sanitní vozidlo	Sanitní vozidlo s adaptivním podvozkem
System	Nosítka, podlaha	Podstavec sanitního lehátka s integrovaným tlumením	Lehátko s inteligentní vibroizolační podložkou
Podsystém	Pevný rám (odpružení vozidla)	Pneumatická pružina, kapalinový tlumič	Vibroizolační gel

Obr. 9: Devět obrazů – Analýza objektu v čase

4.3.2 Varianta A

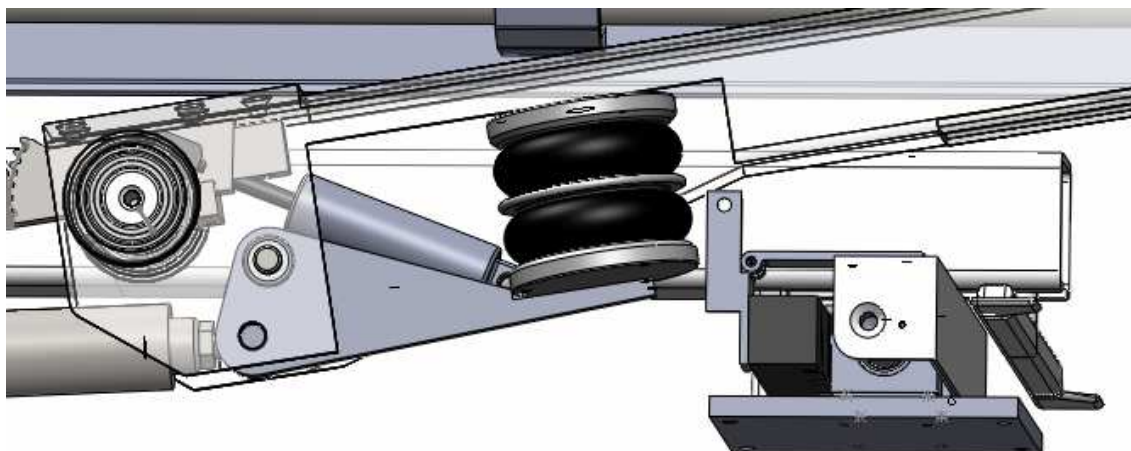
Z důvodu zvýšení únosnosti byly nahrazeny pružiny většími, jedná se o pneumatické pružiny Dunlop 4,5x2 (viz obr. 10). Rozměr páky pružení zůstal bez větších změn. K soustavě je přidán tlumič. Zdvih mechanismu je omezen pryžovým dorazem a ocelovým lankem.



Obr. 10: Model varianty A

4.3.3 Varianta B

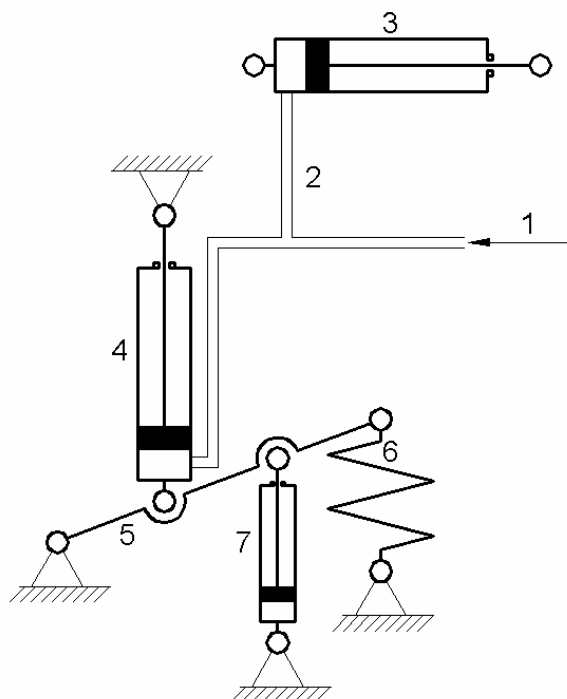
Geometrie pružící páky byla upravena tak, že se změnil převod, došlo ke snížení síly, která působí na pružinu a nakonec mohla být jedna pružina zcela odstraněna. Na její místo je vložen tlumič (viz obr. 11).



Obr. 11: Model varianty B

4.3.4 Varianta C

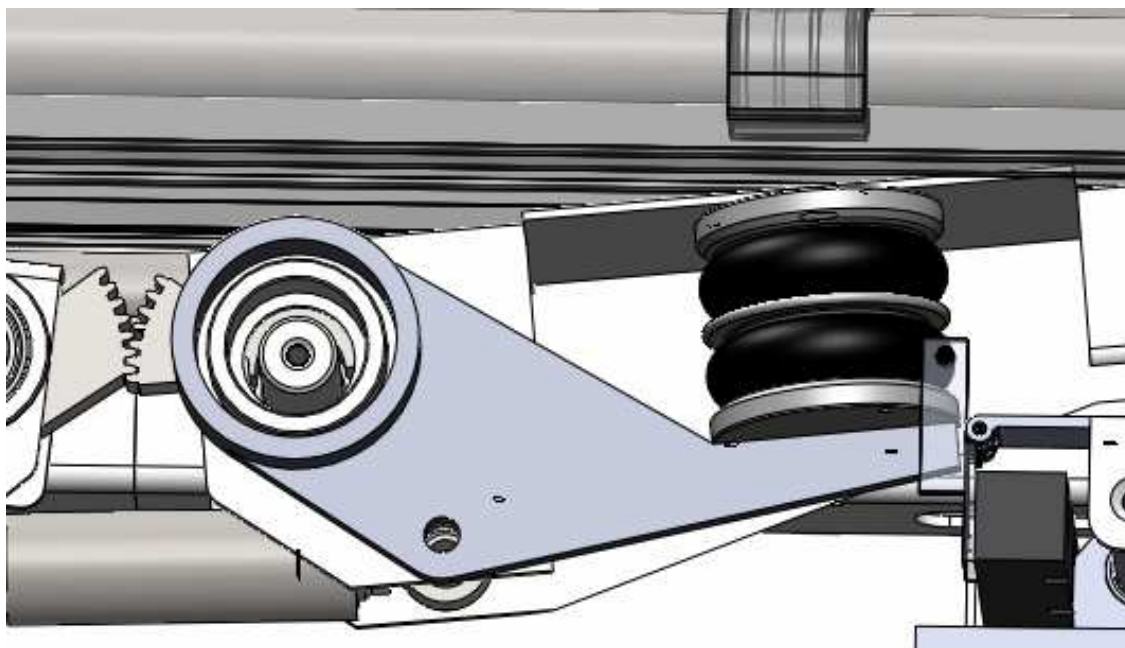
Návrhem zcela jiného řešení je varianta C (viz obr. 12). V tomto případě se do systému lehátka nezasahuje, jedinou podmínkou je dobře tekutý hydraulický olej a vyšší světlost hadic (2). Vibroizolace je umístěna kdekoliv v sanitním voze a je tvořena lineárním hydromotorem (4), pákou (5), pneumatickou pružinou (6) a tlumičem (7). Lineární hydromotor pro zvedání (3) je beze změny. Přívod tlakového oleje (1). Soustava 4,5,6 a 7 představuje krabici, do které vede jedna hydraulická hadice a přívod stlačeného vzduchu, či zdroj elektrické energie.



Obr. 12: Model varianty C

4.3.5 Varianta D

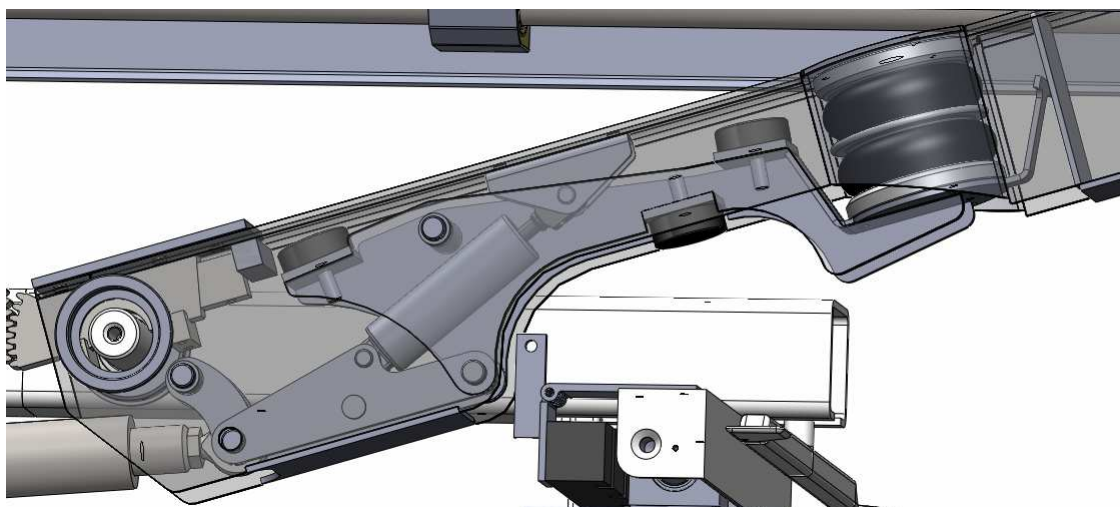
Zde je použita pouze jedna páka (viz obr. 13), která je uložena kluzným ložiskem na vnější straně prodlouženého pouzdra ložiska. Pružina je uložena symetricky, ale zatížení páky je nesymetrické. Samotná zástavba je široká a prostorově omezuje táhlo spojující brzdné segmenty.



Obr. 13: Model varianty D

4.3.6 Varianta E

Pružina je přesunuta do druhé poloviny ramene (viz obr. 14), tím se docílilo celkově symetrického rozložení zatížení. Vznikají menší nároky na uložení. Zvýšil se počet dílů, přičemž každý má své opodstatněné uplatnění. Kolíbkka oddaluje v horní poloze plošiny zvedací píst od ozubeného segmentu, na táhle je uchycen nastavitelný tlumič.



Obr. 14: Model varianty E



Varianta mění pouze rameno, veškeré ostatní díly jsou původní. Rameno může být jak bez vibroizolačních prvků tak s nimi. Na konci ramene je přídatný objem stlačeného vzduchu, který slouží ke změně nastavení tuhosti odpružení.

4.3.7 Detailní rozhodování mezi koncepty

Výběr konečného konceptu inovačního výrobku je iterativní proces, hodnotí se vygenerované dílčí koncepty porovnáváním jednotlivých konceptů a vybírá se jeden nebo několik konceptů pro další vývoj, zlepšování a testování.

Výběr nejvhodnější varianty je v tomto případě proveden rozhodovací maticí, kde je každý koncept oceněn na základě předem stanovených kritérií, která mohou mít různé váhy (viz tab. 3).

Tab. 3: Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů

kritérium	váha	koncepty									
		A		B		C		D		E	
		hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota
cena	10%	1	0,100	2	0,200	0	0,000	2	0,200	1	0,100
dodatečná zástavba	15%	1	0,150	1	0,150	2	0,300	2	0,300	2	0,300
dobu nastavení výšky	5%	2	0,100	2	0,100	1	0,050	1	0,050	2	0,100
únosnost	10%	2	0,200	1,5	0,150	2	0,200	1,5	0,150	2	0,200
údržba	5%	1	0,050	2	0,100	1	0,050	1	0,050	1	0,050
složitost výroby	5%	0	0,000	1	0,050	1	0,050	0	0,000	1	0,050
náročnost na tlak	5%	1	0,050	1	0,050	1	0,050	1	0,050	2	0,100
rozsah kmitání	10%	1	0,100	1	0,100	2	0,200	1	0,100	1,5	0,150
symetrické zatížení	20%	0	0,000	0	0,000	2	0,400	0	0,000	2	0,400
funkce tlumení	15%	0	0,000	1	0,150	1	0,150	1	0,150	2	0,300
součet (100%)		0,750		1,050		1,450		1,050		1,750	
pořadí		5		3 až 4		2		3 až 4		1	
další postup		ne		ne		ne		ne		ano	

[2]

Z tab. 3 vyplývá, že dále bude prohlubován výsledný koncept E

4.4 FMEA

Díky možnému převedení jako standardu pro ostatní výrobky je tato metoda při výrobě často používána. Odhaluje také možná rizika již v ranné fázi plánování, tj. úspora času a jeho investice do vývoje produktu a procesu. Díky této metodě je také důkladně zdokumentován výrobní postup daného výrobku.

O výsledek kvalitní analýzy se musí zasloužit celý tým z různých úrovní organizace. Metoda je relativně jednoduchá. Pro využití této metody je třeba mít dlouhodobou zkušenost a znalost zkoumaného produktu, nebo alespoň produktu jemu podobného. Nejen z tohoto důvodu je potřebný tým lidí různých oborů, protože pro každého člena týmu je důležitá jiná část výrobku, nebo jiné hledisko postupu výroby daného výrobku. Pokud je FMEA analyzována pouze jedním člověkem, není zaručeno, že byly vzaty v úvahu všechny možné druhy závad a jejich příčin. Přesně vzato je FMEA souhrnem poznatků technika nebo týmu v průběhu vývoje celého procesu.



V tomto projektu byly členy FMEA týmu Ondřej Kohl (řešitel diplomové práce), Lubomír Pešík (vedoucí diplomové práce), Bohumil Trachta (konstruktér), Martin Livar (zámečnick). Z hlediska zkušeností účastníků zastupuje každý více oborů, tím by mělo být použití FMEA efektivní. V příloze této DP jsou vyplněné FMEA formuláře.

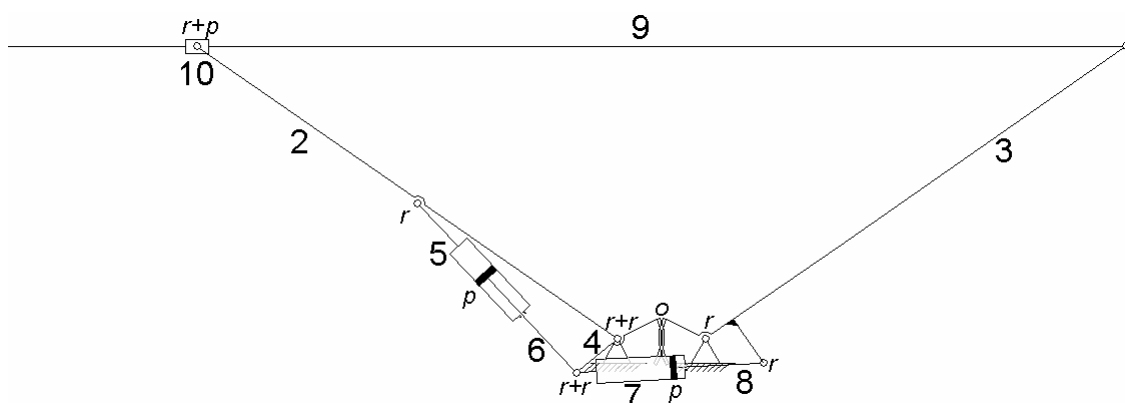
5 Mechanický model

Mechanický model je základem řešení úloh mechaniky a většiny inženýrských úloh. Podstatou mechanického modelu je transformace reálných objektů (strojů, technických soustav) do podoby fiktivních abstraktních objektů s idealizovanými vlastnostmi. Vlastnosti reálných objektů se těmito ideálními vlastnostmi jen více či méně blíží. Tyto tzv. ideální objekty (např. hmotný bod, dokonale tuhé těleso, lineární pružina) nikde v realitě neexistují, ale fyzika, mechanika a ostatní inženýrské vědy formulují své poznatky právě jen o těchto fiktivních abstraktních objektech. Mechanika není schopna cokoli tvrdit o reálném stroji, její závěry se výlučně vztahují k mechanickému modelu složenému z ideálních objektů. Míra shody mezi vlastnostmi reálného objektu a jeho idealizovaného modelu je zásadní pro platnost závěrů inženýrských výpočtů (založených na mechanice) a pro možnost použití inženýrských věd pro racionální práci inženýra. Z těchto důvodů je modelování pro každého inženýra tak důležité. Jeho význam navíc stále roste díky rostoucím možnostem použití počítačů pro studium vlastností idealizovaných modelů reálných objektů.

[3]

Pro přehlednost vývoje projektu jsou zde uvedeny tři koncepce mechanického modelu. Výpočet stupňů volnosti bude uveden jen pro variantu E vycházející z kapitoly 4.

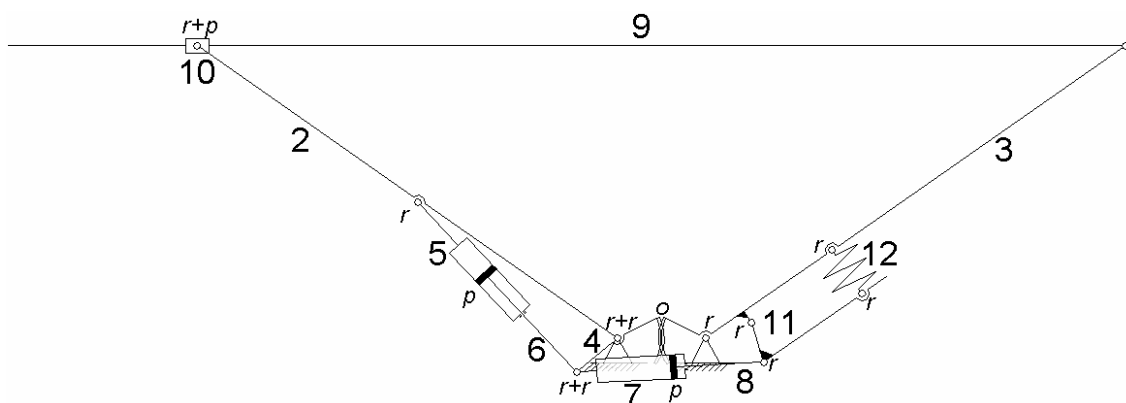
Prvním uvedeným schématem je konceptuální model současně vyráběného podstavce (viz obr. 15). Tento podstavec není vybaven dodatečnou vibroizolací.



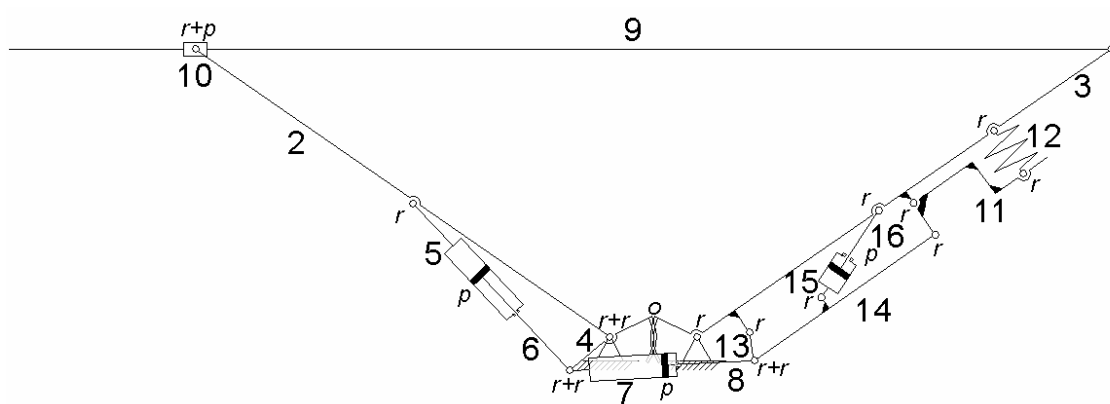
Obr. 15: Model původního mechanismu

Druhý model představuje variantu vygenerovanou v první etapě vývoje (viz obr. 16). Tato varianta je vybavena vibroizolačním mechanismem, který je uložen v nevyužitém prostoru pevného ramene. Pohyb je zřejmý z modelu. Není řešeno tlumení a při převodu do mechanického modelu dochází k několika kolizím s ostatními částmi podstavce. Použití této konstrukce se netýká jen překonstruování ramene, ale také některých ostatních částí podstavce, což je nežádoucí. Únosnost použitých pružin je nedostačující.

Model varianty E (viz obr. 17) se skládá z více částí než model vycházející z první etapy vývoje. Z hlediska počtu dílů je tato varianta složitá, ale z hlediska funkce a omezení je velmi výhodná. Přesunutí pružiny na konec ramene znamená zcela symetrické rozložení zatěžujících sil. Proto nemusejí být použita žádná dimenzovaná pouzdra. Jako ložiska slouží přímo laserem vypálené otvory v táhlech, pákách a rámu ramene, což značně zlevňuje a urychluje výrobu.



Obr. 16: Model první etapy vývoje



Obr. 17: Model sestavy lehátka – varianta E

Význam čísel v modelu varianty E:

1. Rám
2. Naklápěcí rameno
3. Vibroizolační rameno
4. Otočný ozubený segment
5. Tělo lineárního hydromotoru pro naklápění
6. Píst lineárního hydromotoru pro naklápění
7. Tělo lineárního hydromotoru pro zvedání
8. Píst lineárního hydromotoru pro zvedání
9. Plošina
10. Vedení
11. Páka pružení
12. Pružina
13. Kolíbka
14. Táhlo

15. Tělo tlumiče

16. Píst tlumiče

Počet stupňů soustavy i řeší strukturální vzorec:

$$i = 3 \cdot (n_m - 1) - 2 \cdot (r + p + v) - o, \quad (5.1)$$

v tomto případě je dosazeno do (5.1) za rotační vazby číslo 17 z důvodu násobnosti ve třech bodech, číslo 4 za vazby posuvné a číslo 1 za obecné:

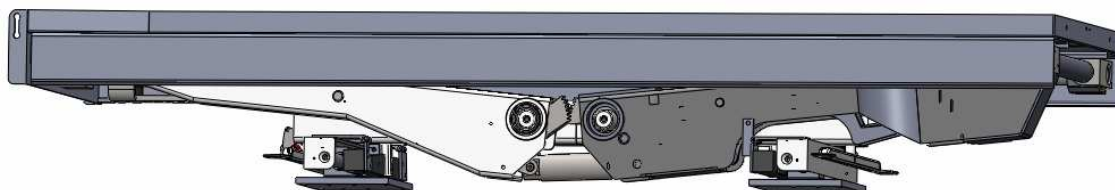
$$i = 3 \cdot (16 - 1) - 2 \cdot (17 + 4 + 0) - 1$$

$$i = 2^\circ \quad (5.2)$$

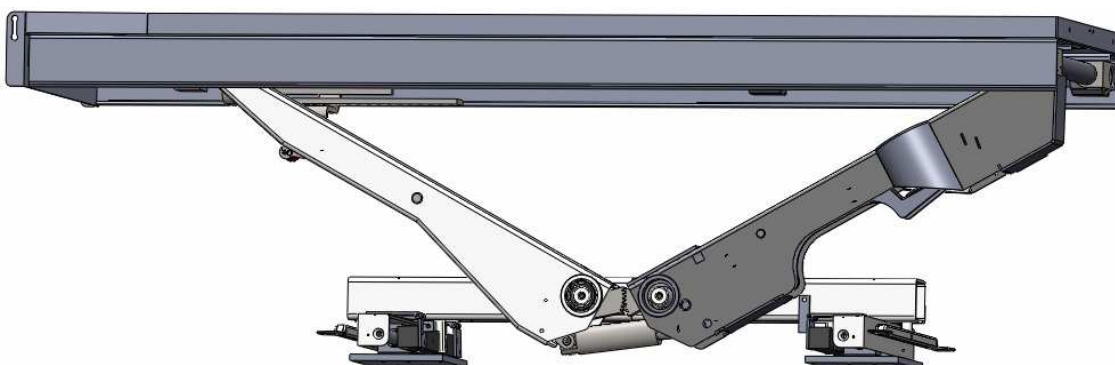
Soustava má dva stupně volnosti, jedná se o zvedání plošiny a její naklápění. Pokud by se uvažovalo pružení jako další možný pohyb, byly by to celkem tři stupně volnosti.

5.1 Kinematika podstavce

Z hlediska problematiky, která je řešena, existují dvě referenční polohy, které budou vyšetřovány. Jde o polohu sestavy, kdy je výška stolu minimální – běžná přepravní výška. Nebo, kdy je stůl maximálně zvednutý. Pokud se jedná o podstavec bez vibroizolace, je minimální výška při dotýkání ramen a základu. Pokud se uvažuje podstavec s vibroizolací, která bude podstavci umožňovat kmitání cca $z = -50 \div 50$ mm, musí být i při minimální provozní výšce stůl zvednut alespoň o 60 mm nad základním rámem (viz obr. 18), přičemž celková hodnota vzdálenosti od podlahy k plošině je $z_N = 250$ mm. Maximální provozní výška je $z_{N\max} = 600$ mm (viz obr. 19).



Obr. 18: Mechanický model sestavy lehátka - minimální provozní výška



Obr. 19: Mechanický model sestavy lehátka - maximální provozní výška

Pomocí programu Solid Works 2010 Premium (dále jen SW2010) byly zjištěny převodové funkce mechanismu v obou referenčních polohách. Převod se během zdvihu pružiny mění (v dané referenční poloze), ale pouze v rozsahu tří desetín, uvažuje se tedy střední hodnota převodové funkce (viz tab. 4).

Převodové funkce jsou důležité pro kontrolu rozsahu kmitání a zatížení. V dolní referenční poloze je vyšší zdvih plošiny, ale nižší únosnost a v horní referenční poloze je tomu naopak. Oba parametry byly ověřeny v obou referenčních polohách v SW2010.

Tab. 4: Převodové funkce

Referenční poloha	Veličina	Hodnota	Jednotka
Dolní	Převod - i_{m1}	0,68	-
Horní	Převod - i_{m2}	0,79	-

Převodová funkce byla zjištěna pomocí zmíněného konstrukčního nástroje i pro pohyb tlumiče v závislosti na zdvihu pružiny. Ta je pro obě referenční polohy stejná a je

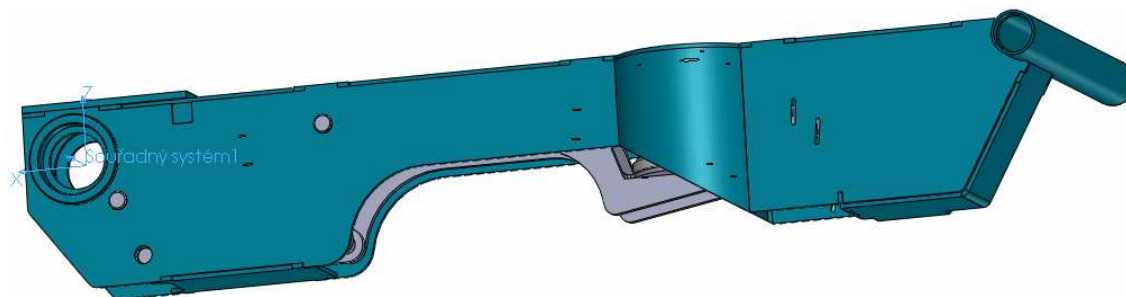
$$i_{mt} = \frac{z_p}{z_t} = 0,31. \quad (5.3)$$

5.2 Dynamika podstavce

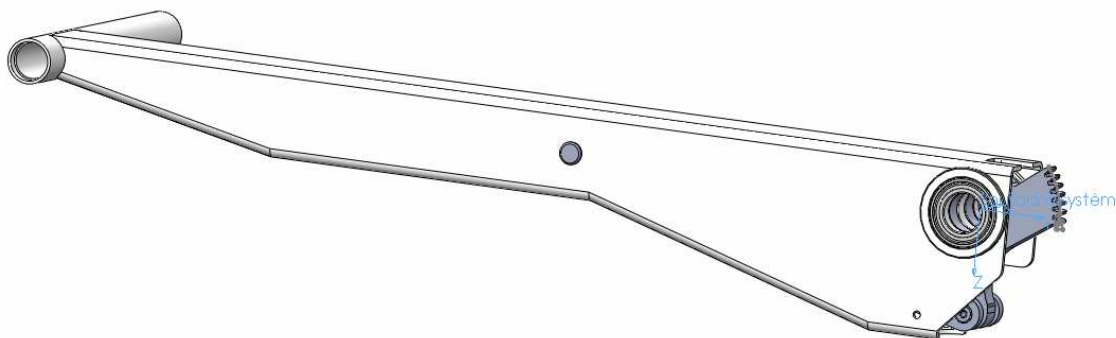
Než bude možné soustavu nastavit na požadované hodnoty, musejí být zjištěny současné dynamické hodnoty, ze kterých bude později vycházet optimalizace.

K rozboru dynamických vlastností je třeba znát některé fyzikální vlastnosti těch částí mechanismu, které nejvíce ovlivňují dynamické vlastnosti soustavy při svislém pohybu - pohyb při aktivní vibroizolaci. Jsou to obě ramena a plošina. Ramena konají rotační pohyb kolem čepů, které jsou součástí základu. Fyzikálními vlastnostmi ramen, které jsou potřebné k dynamickému rozboru jsou setrvačné momenty kolem os otáčení ramen. Pro plošinu je to hmotnost, protože se pohybuje pouze přímočarým pohybem.

Vyšetřování fyzikálních vlastností dílčích podsestav soustavy bylo provedeno pomocí SW2010. Jednotlivým částem podsestav byl přiřazen materiál, ze kterého jsou vyrobeny. U ramen byl zvolen souřadný systém v ose otáčení a postprocesor programu zjistil všechny dostupné fyzikální vlastnosti podsestav.

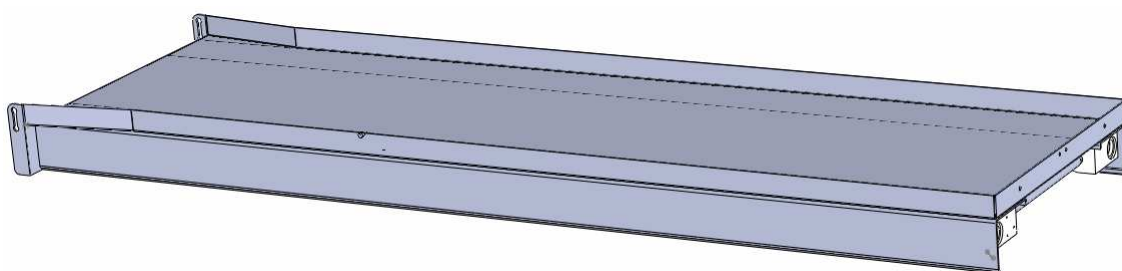


Obr. 20: Vibroizolační rameno – varianta E se souřadným systémem



Obr. 21: Naklápěcí rameno se souřadným systémem

Kompletní výpis těchto vlastností je v příloze této diplomové práce. Na obrázcích (viz obr. 20, obr. 21 a obr. 22) jsou části soustavy, kterých se vyšetřování dynamických vlastností týká. U ramen jsou zobrazeny souřadné systémy.



Obr. 22: Plošina lehátka

V následující tabulce (viz tab. 5) jsou uvedeny vybrané fyzikální vlastnosti pro další výpočty.

Tab. 5: Fyzikální vlastnosti částí lehátka nutných k dynamické analýze

Část lehátka	Veličina	Hodnota	Jednotka
Vibroizolační rameno	Moment setrvačnosti	4,2392	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
-//-	Hmotnost	18,4917	kg
Naklápěcí rameno	Moment setrvačnosti	3,0508	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
-//-	Hmotnost	18,0013	kg
Plošina	hmotnost	73,5136	kg
Model pacienta	Hmotnost	100,0000	kg

Během transportu pacienta bude sklon stolu pevně nastaven. V těchto i v dalších výpočtech se uvažuje stůl ve vodorovné poloze rovnoběžné s podlahou sanitního vozidla. V okamžiku přepravy a uvolnění pružení, bude pohyb umožňovat jen jeden stupeň volnosti a to ve směru tečném k ložné plošině lehátka. Funkce vibroizolace bude samozřejmě umožněna i při naklopení plošiny.



Rozhodující pro návrh vhodného uložení je nejnižší poloha, při které budou hodnoty zatížení největší, a to z důvodu velkého momentu, který je ovlivněn polohou ramen. Ramena jsou v dolní poloze plošiny téměř rovnoběžná s rámem a moment má tudíž nejvyšší hodnotu. V dolní poloze jsou zároveň značná prostorová omezení. Je nutné kontrolovat možné kolize.

Pro výpočet zatížení podstavce je nutné znát hmotnost jednotlivých částí. Tyto údaje byly společně s momenty setrvačnosti zjištěny softwarem SW2010. Momenty setrvačnosti budou využity k výpočtu redukované hmoty pohyblivých částí podstavce, neboť pohyb umožněný vibroizolací vyvolává jisté setrvačné účinky, které zvyšují zatížení mechanismu vibroizolace.

Při výpočtu redukované hmoty se vychází z kinetické energie soustavy. Při jejím vyšetřování se obvykle vychází z Königovy věty, která říká, že celková energie systému částic je rovna součtu vnitřní energie, která v sobě obsahuje kinetickou energii pohybu jednotlivých částí vzhledem k těžišti i potenciální energii jejich interakcí, a kinetickou energii soustavy jako celku.

$$E = \frac{1}{2} \int_{(m)} dm (\vec{v}_\Omega + \vec{\omega} \times \vec{\rho})^2, \quad (5.4)$$

[4]

pro soustavu lehátky jsou zásadní členy a jejich parametry viz tab. 5 této DP

$$E_1 = \frac{1}{2} m_p v_p^2 + \frac{1}{2} (J_1 + J_2) \omega_r^2. \quad (5.5)$$

Při řešení redukované hmoty se vychází z jednoho členu soustavy, tzv. redukčního členu, na který se redukuje podle jistých principů hmoty všech členů a pracovní silové účinky (síly, dvojice). Za redukční člen se volí nejčastěji hlavní člen soustavy, to je hnací nebo hnaný - vhodný bývá člen, na kterém se určuje neznámá veličina, to je buď silový účinek (ve většině případů na hnacím členu) nebo zrychlení. Za redukční útvar lze volit také bod (např. na rotačním členu).

Základní typy redukčních členů jsou:

- (a) redukční člen s rotačním pohybem
- (b) redukční člen s posuvným pohybem
- (c) redukční bod s rotačním pohybem

Určení obecné redukované hmoty m_{red} se provádí na principu rovnosti kinetické energie redukčního členu a kinetické energie celé soustavy. Platí tedy

$$\frac{1}{2} m_{red} \dot{q}^2 = \sum_i \left(\frac{1}{2} m_i v_{si}^2 + \frac{1}{2} J_{si} \omega_i^2 \right), \quad (5.6)$$

kde na pravé straně za sumačním znaménkem je kinetická energie i-tého členu soustavy s obecným pohybem (Königova věta).

[5]



Dosazením (5.5) do (5.6) vypadá výsledný vzorec a později výsledek pro pružící podstavec následovně:

$$m_{red} = \frac{2E_1}{v_p^2} = 83,189 \text{ kg} . \quad (5.7)$$

V této práci byla zvolena za redukční člen plošina lehátka, protože je to část soustavy, která vykonává svislý pohyb, tj. pohyb, který je dán stupněm volnosti pro vibroizolaci. Jak je vidět v příloze této DP, redukovaná hmota je nezávislá na rychlosti, protože se během výpočtu navzájem vyruší.



6 Optimalizace parametrů

Navržením způsobu tlumení vibrací, návrhem konstrukce a zakomponování vibroizolačních prvků do stávající konstrukce tato úloha nekončí. Stěžejním bodem této práce je nastavení pružících a tlumících vlastností tak, aby byla celá vibroizolace účinná a plně vyhovovala požadavkům, které jsou na ni kladeny. Při nesplnění správného nastavení je celá dosavadní práce zbytečná.

6.1 Pružící parametry

Pneumatické pružiny jsou konstrukční prvky s obecně nelineárními zatěžovacími charakteristikami. Mohou být podle konkrétního provedení progresivní nebo degresivní.

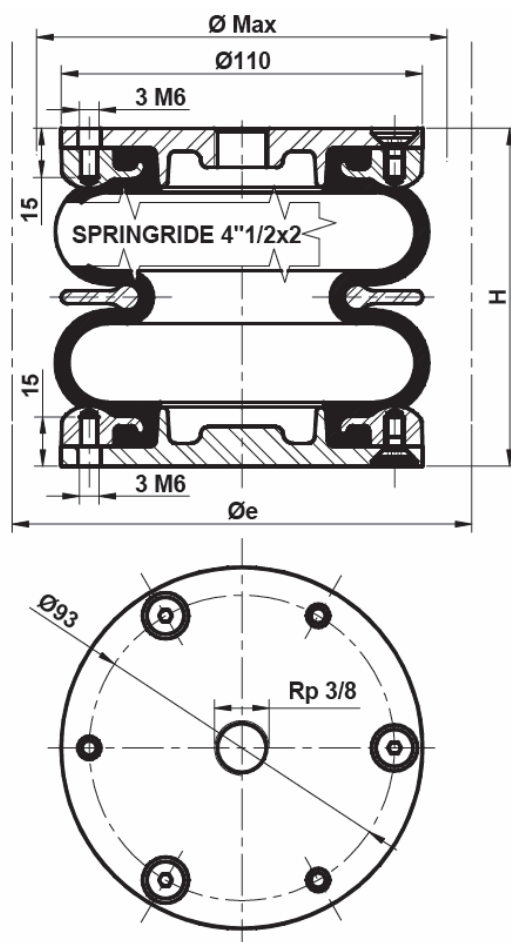
Vlastnosti pneumatické pružiny při osově deformaci se zjišťují laboratorním měřením jejího objemu V_0 při statické výšce a zdvihové závislosti tzv. efektivní plochy $S(z_p)$. Geometricky je efektivní plocha $S(z_p)$ dána přibližně středou meridiánových křivek pryžokordového měchu.

Pružiny Dunlop 2,75"x3, které byly použity v první etapě vývoje, byly ve variantě E nahrazeny jednou pružinou Dunlop 4,5"x2 stejné konstrukce. Pružina má díky své velikosti (viz tab. 6 a obr. 23) výrazně vyšší únosnost i zdvih. Použití jedné pružiny zjednodušuje a zlevňuje konstrukci. Při posunutí pružiny ke konci ramene nedochází k žádnému prostorovému omezení z důvodu použití tohoto vlnovce.

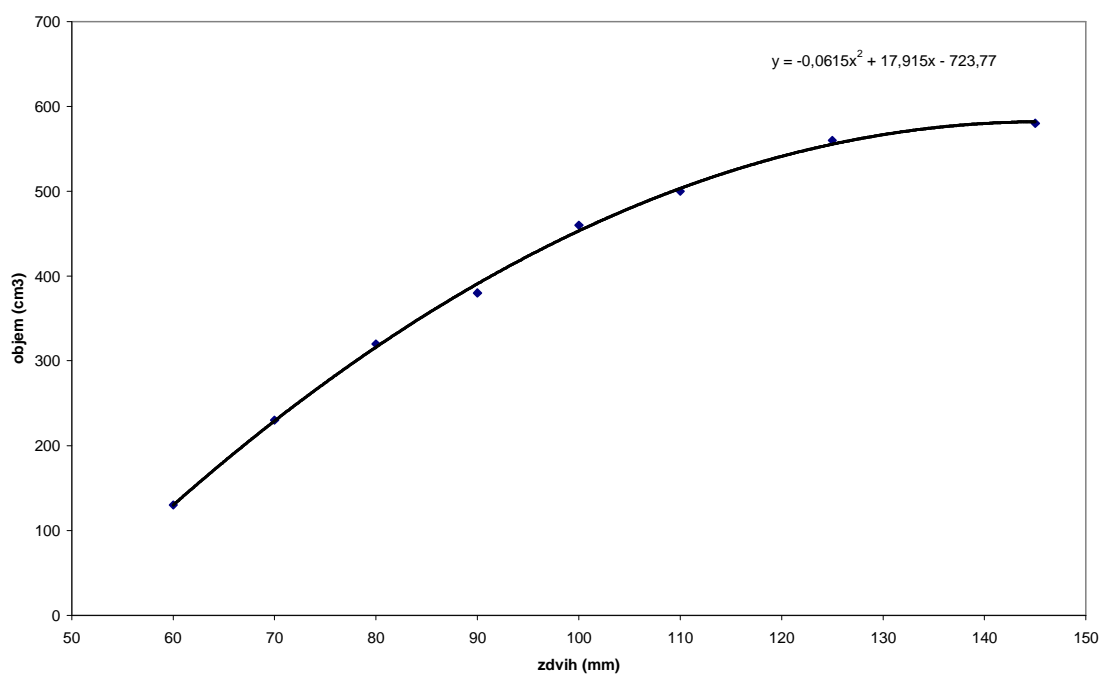
Tab. 6: Základní parametry pružiny

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální průměr	125,00	mm
Zástavbový prostor	140,00	mm
Minimální výška	65,00	mm
Maximální výška	145,00	mm
Zdvih	80,00	mm
Statická výška	100,00	mm
Efektivní plocha ve statické výšce	67,00	cm ²
Hmotnost	0,93	kg

Z grafu v katalogu [6] byly odečteny hodnoty a byla vytvořena závislost objemu pružiny na zdvihu a grafem byla proložena regresní funkce (viz graf 1), jejíž hodnoty jsou použity v dalších výpočtech.



Obr. 23: Rozměry pružiny Dunlop 4,5"x2



Graf 1: Objem pružiny Dunlop 4,5"x2

[6]

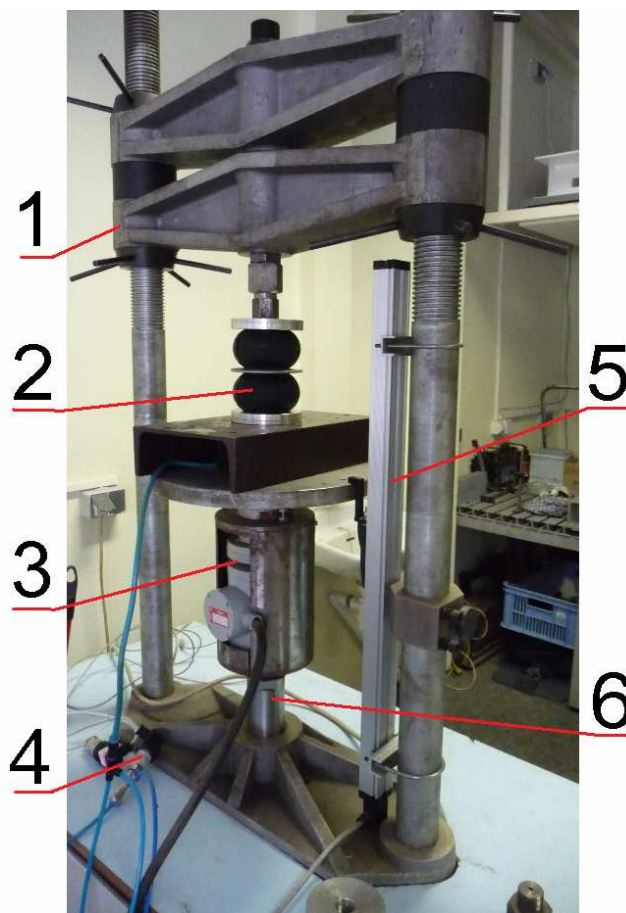
K ověření údajů od výrobce pružiny a zejména k jejich zpřesnění bylo provedeno měření zatěžovací charakteristiky později použité pneumatické pružiny a změření její efektivní plochy v závislosti na jejím zdvihu. Měření probíhalo v laboratoři TUL, která disponuje potřebným měřicím zařízením (viz obr. 24).

Stručný popis zařízení:

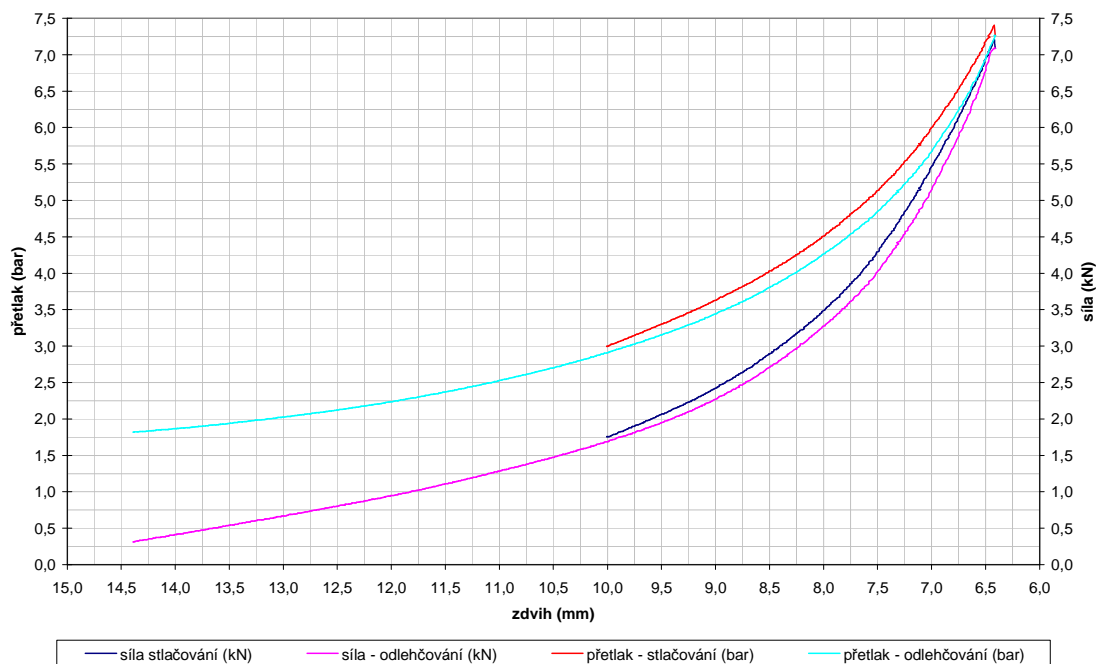
1- rám, 2 – měřená pružina, 3 – tenzometr (20kN), 4 - snímač přetlaku v pneumatické pružině, 5 – snímač lineárního posuvu, 6 – lineární hydromotor. K zařízení dále patří hydraulické čerpadlo, regulátor rychlosti posuvu lin. hydromotoru, A/D převodník a interface pro připojení PC pomocí USB

Popis měření:

Pružina je umístěna mezi desky, ty jsou od sebe ve vzdálenosti H = statická výška pružiny. Pružina je naplněna vzduchem o přetlaku 3 bar (nebo jiném, dle požadavků). V programu se nastaví parametry průběhu měření a spustí se vlastní měření, ve kterém se pružina nejdříve stlačí na minimální zdvih, chvíli se setrvá a dojde k odlehčení na maximální zdvih, poté se píst hydromotoru vrátí do počáteční polohy – H . Celý průběh se zaznamená a poté zpracuje v programu MS Excel.

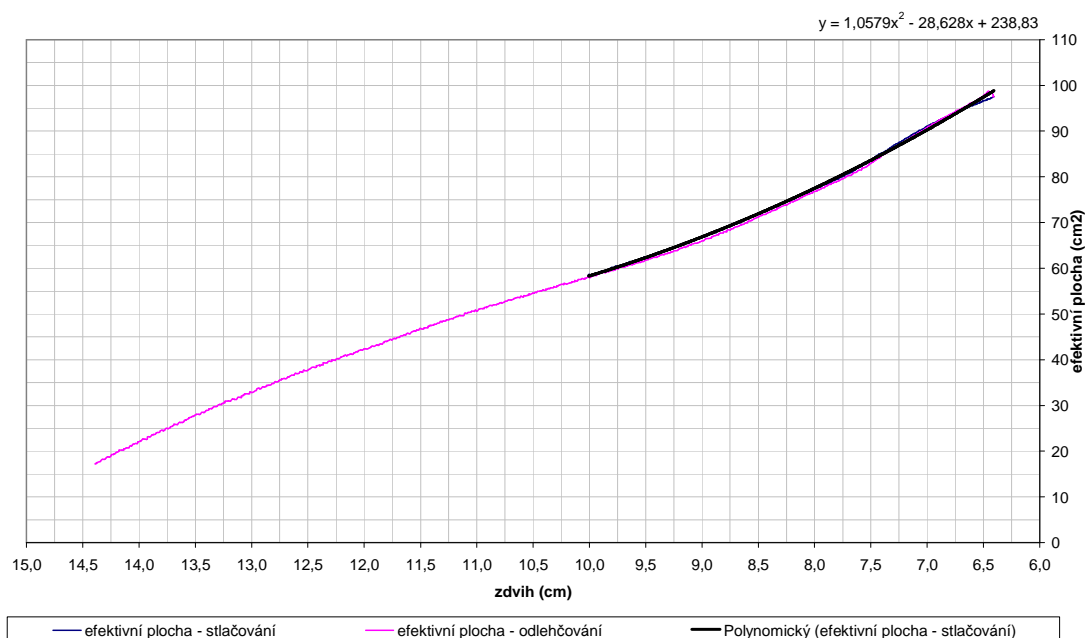


Obr. 24: Schéma měření charakteristiky pneumatické pružiny



Graf 2: Charakteristika pružiny Dunlop 4,5"x2 při počátečním přetlaku 3 bar

Výsledkem měření a následného zpracování je zatěžovací charakteristika pružiny (viz graf 2), na které je vidět progrese pružiny. Progrese je způsobena změnou efektivní plochy pružiny (viz graf 3), která se zvyšuje se stlačením pružiny. Efektivní plocha pružiny určuje její nosnost. Tato pružina má nosnost $F_p = 3000 \text{ N}$ (při výšce $z_p = 100 \text{ mm}$ a přetlaku $p_p = 5 \text{ bar}$).



Graf 3: Efektivní plocha pružiny Dunlop 4,5"x2 při počátečním přetlaku 3 bar

Výsledky měření slouží jako podklad pro výpočet zatížení, zjištění vlastní frekvence soustavy a k optimalizaci nastavení pružících a tlumících vlastností.

Principem virtuálních posunutí bylo zjištěno zatížení pružin – viz rovnice 6.1. Rovnice vyjadřuje, že síla F_{N0} , která způsobí posunutí plošiny o vzdálenost dz_N se musí rovnat síle pružiny F_{p0} při stlačení pružiny o vzdálenost dz_p (viz obr. 25).

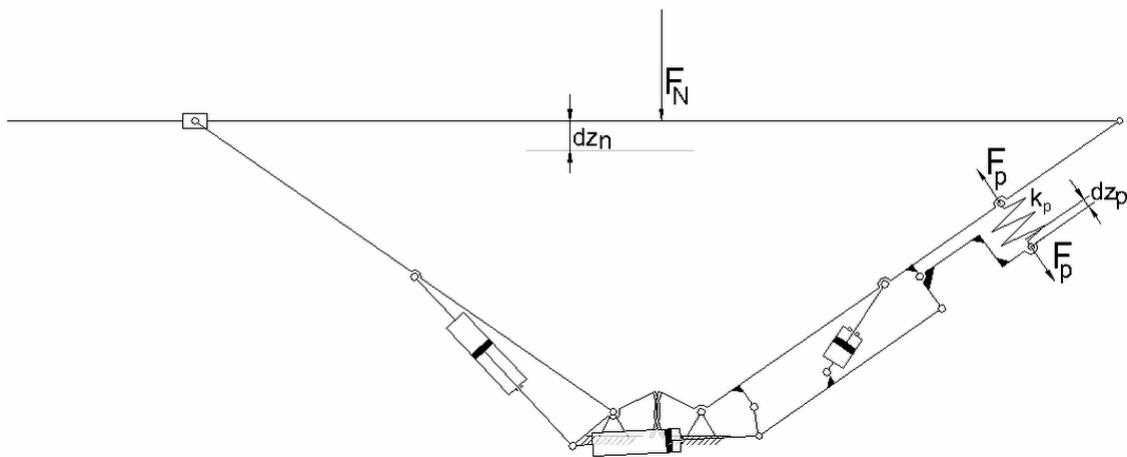
$$F_{N0} \cdot dz_N = F_{p0} \cdot dz_p, \quad (6.1)$$

přičemž síla F_{N0} je vyvolaná redukovanou hmotností soustavy (viz rovnice 5.7). Pro zjištění počáteční tuhosti pružiny bylo zvoleno počáteční stlačení pružiny $dz_p = 5 \text{ mm}$. Tuhost pružiny se poté vypočítá následujícím vztahem

$$k_p(z_p) = (p_{p0} + p_a) \cdot \left[\frac{V_0}{V(z_p)} \right]^n \cdot \left[n \cdot \frac{S^2(z_p)}{V(z_p)} + U(z_p) \right] - p_a \cdot U(z_p), \quad (6.2)$$

z rovnice (6.1) a převodové funkce (viz tab. 4) lze určit zatížení pružiny, protože

$$\frac{dz_p}{dz_N} = i_m, \quad (6.3)$$



Obr. 25: Schéma pro výpočet zatížení pružiny

pak

$$F_{p0} = \frac{F_{N0}}{i_m}. \quad (6.4)$$

Protože se vychází ze statické výšky a pružina se stlačí o $dz_p = 5 \text{ mm}$, je známa i efektivní plocha (viz graf 3), lze spočítat přetlak v pružině

$$p_{p0} = \frac{F_{p0}}{S(z_p)}. \quad (6.5)$$

Atmosférický tlak je $p_a = 1,0132 \text{ bar}$.

Jak je uvedeno výše, ze znalosti zdvihu pružiny lze odečíst z dříve získaného grafu objem pružiny (viz graf 1).

Exponent n závisí na změně, podle které probíhá změna stlačeného vzduchu, obvykle se předpokládá polytropická změna stavu stlačeného vzduchu s exponentem $n = 1,3$.



$U(z_p)$ je tzv. ukazatel efektivní plochy a vypočte se jako derivace efektivní plochy podle zdvihu

$$U(z_p) = \frac{dS(z_p)}{dz}. \quad (6.6)$$

Výsledkem výpočtu je první hodnota tuhosti pružiny stlačené vlastní hmotností soustavy (redukována hmotnost) $dz_p = 5 \text{ mm}$ ze statické výšky. Hodnota tuhosti této pružiny je $k_p(5) = 19,67 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Z této tuhosti pružiny lze úpravami rovnic (6.1), (6.3) a (6.4) vypočítat tuhost podstavce lehátka, neboť

$$k_N(z_p) = \frac{dF_N}{dz_N}, \quad (6.7)$$

dále

$$\frac{dF_N}{dz_N} = \frac{dF_p}{dz_N} \cdot \frac{dz_p}{dz_N} = \frac{dF_p}{dz_p} \cdot \frac{dz_p}{dz_N} \cdot \frac{dz_p}{dz_N}, \quad (6.8)$$

z výše uvedeného vyplývá, že

$$k_N(z_p) = k_p \cdot i_m^2, \quad (6.9)$$

neboť platí také

$$k_p(z_p) = \frac{dF_p}{dz_p}. \quad (6.10)$$

Z těchto rovnic vyjde počáteční hodnota tuhosti podstavce lehátka

$$k_N(5) = 12,28 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}.$$

Výpočet je prováděn dále až do maximálního stlačení pružiny stejným způsobem. Vypočtené hodnoty jsou zkontrolovány pomocí SW2010. Výsledkem výpočtu, který byl proveden pro obě referenční polohy jsou zatěžovací charakteristiky v obou referenčních polohách (viz graf 9 a 10).

[7]

Jedním z parametrů pružiny je také její vlastní frekvence, vypočítá se rovnicí

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot k_p(0)}{F_p(0)}}, \quad (6.11)$$

po dosazení vyjde

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot 19670}{1025}} = 2,18 \text{ Hz}.$$

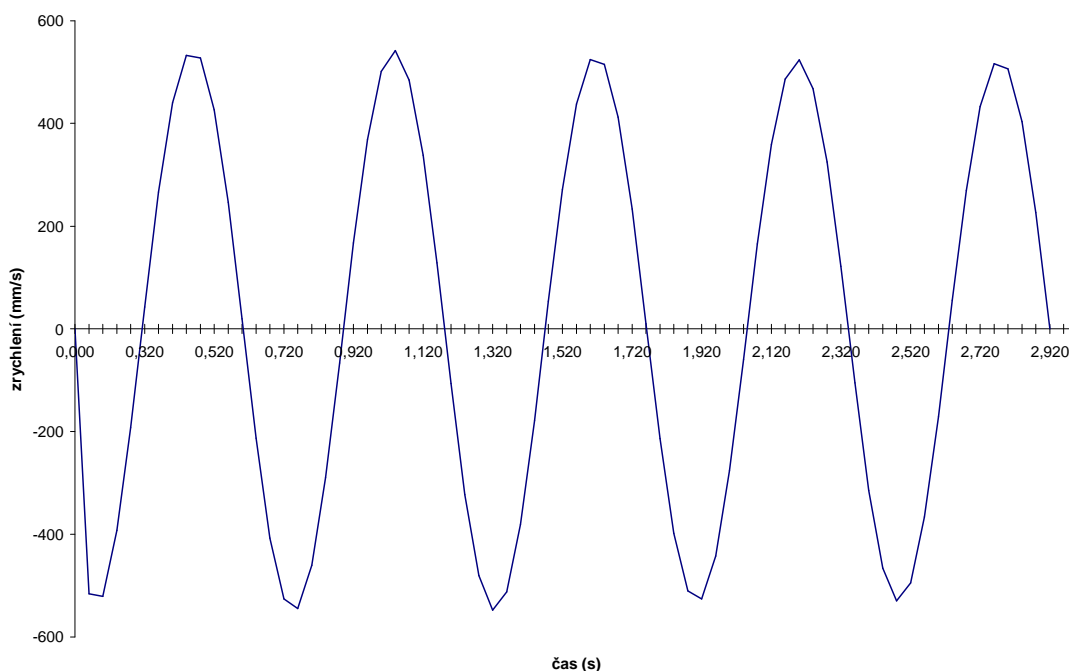
Výpočet vlastní frekvence byl zkontrolován pomocí simulace v SW2010. Výsledkem simulace je grafická závislost průběhu zrychlení na čase (viz graf 4). Z grafu lze odečíst periodu kmitání a podle vzorce (6.12) vypočíst vlastní frekvenci soustavy, která je totožná s vlastní frekvencí pružiny

$$f_N = \frac{1}{T}. \quad (6.12)$$

Frekvence vypočtená ze simulace je

$$f_N = 1,78 \text{ Hz}.$$

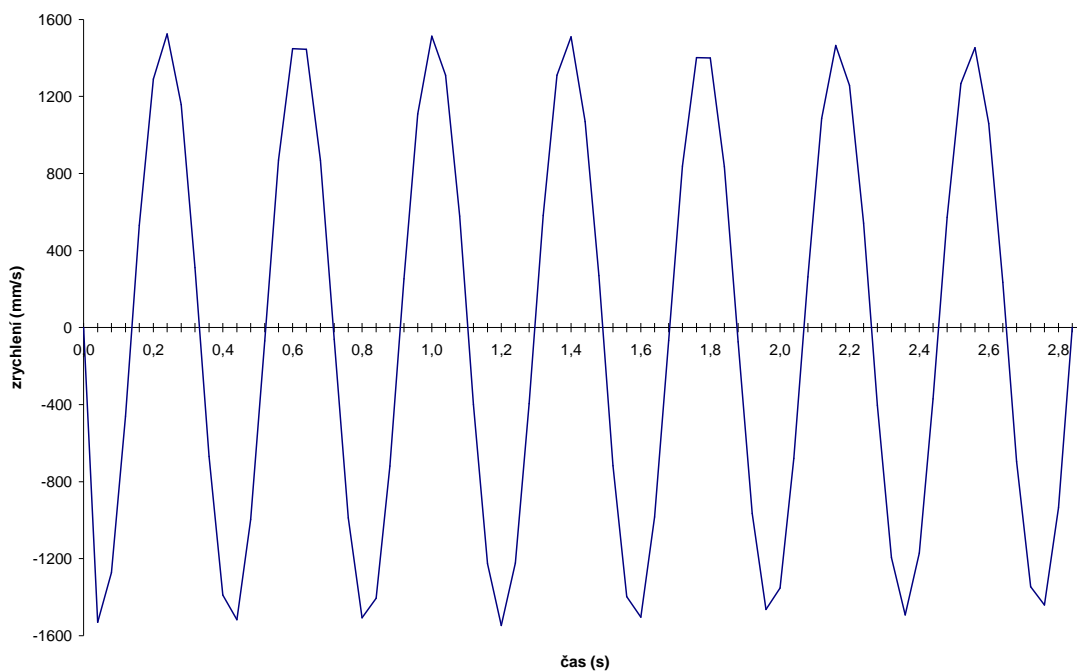
Hodnoty tuhosti se liší, může to být způsobeno na jedné straně nastavením přesnosti postprocesoru programu a na druhé straně přesností předchozích výpočtů.



Graf 4: Závislost posuvného zrychlení na čase - nezatížené, nahoře

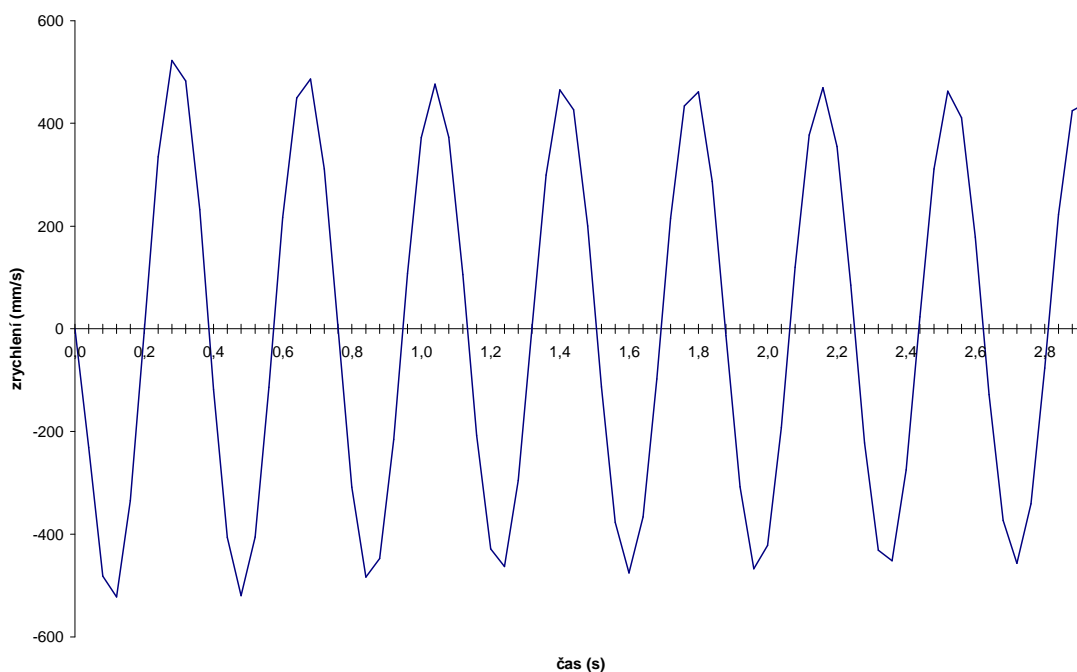
V dalších výpočtech vlastní frekvence bude použitý pouze SW2010.

V případě zatížení podstavce lehátka břemenem o hmotnosti 100kg, které představuje pacienta s nosítky v horní referenční poloze má vlastní frekvence hodnotu (viz graf 5) $f_N = 2,5 \text{ Hz}$.



Graf 5: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, nahoře

Pokud se bude uvažovat dolní referenční poloha se stejným zatížením, bude mít vlastní frekvence hodnotu (viz graf 6) $f_N = 2,78 \text{ Hz}$.



Graf 6: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, dole

V této kapitole byly dosud uvedeny pouze parametry a jejich hodnoty, nyní budou hodnoty dříve uvedených parametrů upraveny tak, aby splňovaly zadané podmínky.



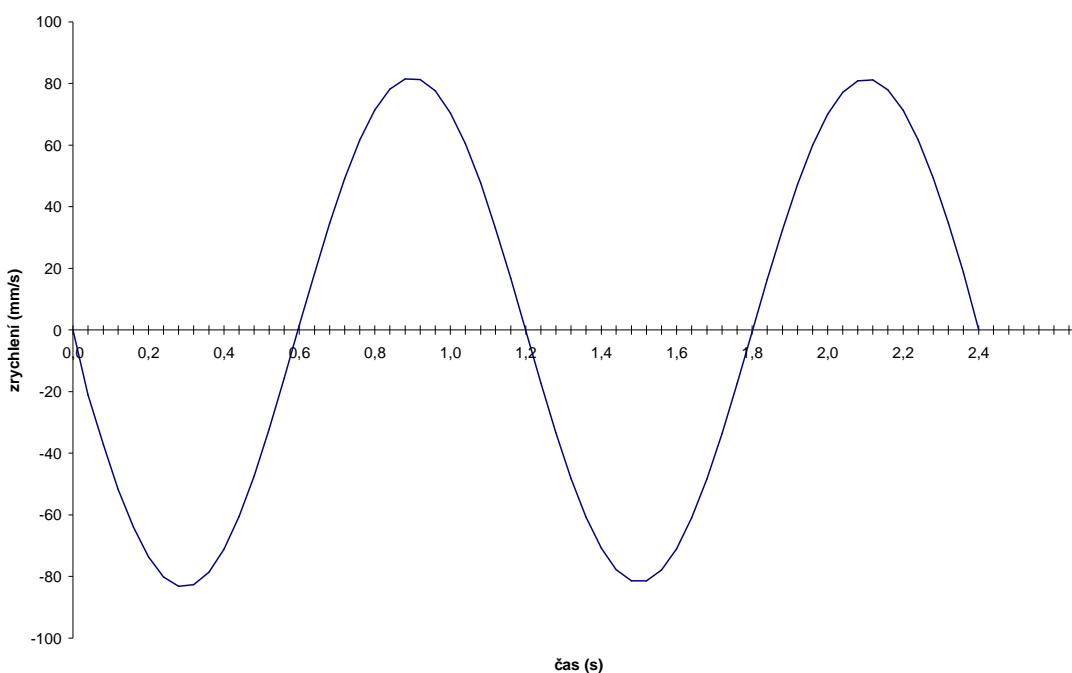
Z předchozích výpočtů a grafů je zřejmé, že bude nutné pružení upravit tak, aby byla vlastní frekvence zatíženého podstavce snížena na požadovanou hodnotu. Vlastní frekvence jiných odpružených zařízení pro lidi, jako jsou například sedadla nákladních vozidel, mají hodnotu vlastní frekvence v rozmezí $f_N = 1 \div 1,5$ Hz.

Vlastní frekvenci soustavy lze upravit vhodně zvolenou velikostí přídavného objemu připojeného k pružině. Přídavný objem představuje tlaková nádoba. V tomto projektu se nabízí, vytvořit přídavný objem ve zbylé části profilu vibroizolačního ramene, do kterého již nezasahuje vibroizolační mechanismus. Využije se tím materiál ramene a ušetří zástavbový prostor, kterého je v podstavci lehátka značný nedostatek.

Požadovaný objem se určí dosazováním, nebo vyjádřením objemu z rovnice (6.2). V tomto případě byla zvolena první možnost a postupným dosazováním byl určen přídavný objem $V_+ = 1,5$ dm³.

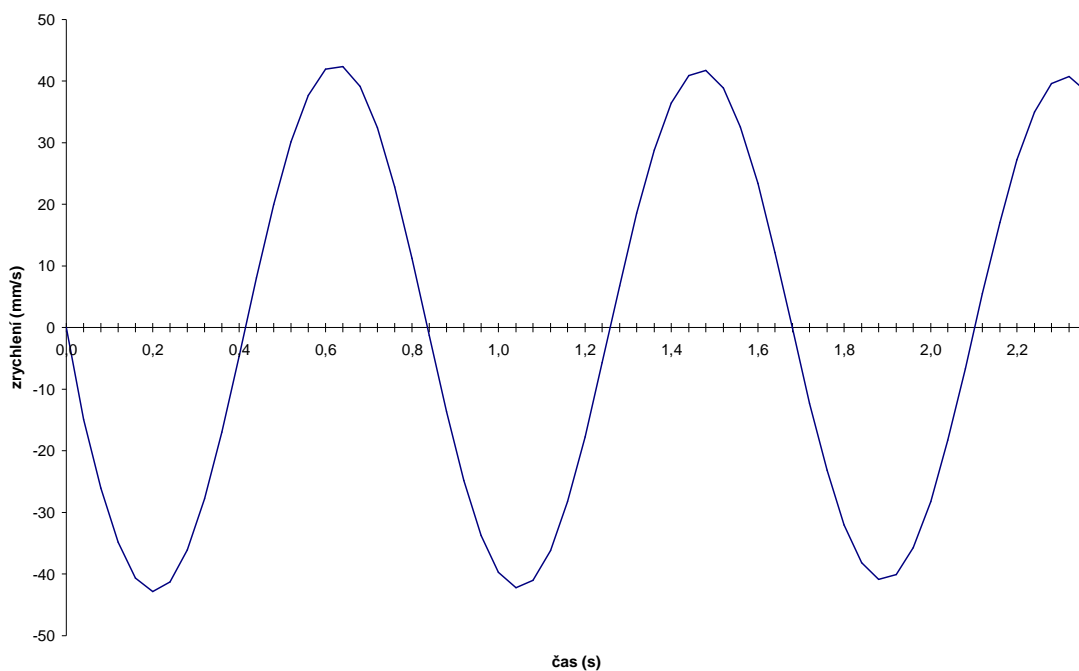
Byla provedena měření vlastní frekvence v obou referenčních polohách a z grafů posuvných rychlostí byly odečteny periody a z nich vypočteny rovnici (6.12) vlastní frekvence.

Pro zatíženou horní referenční polohu (viz graf 7) vyšla vlastní frekvence $f_N = 0,83$ Hz.



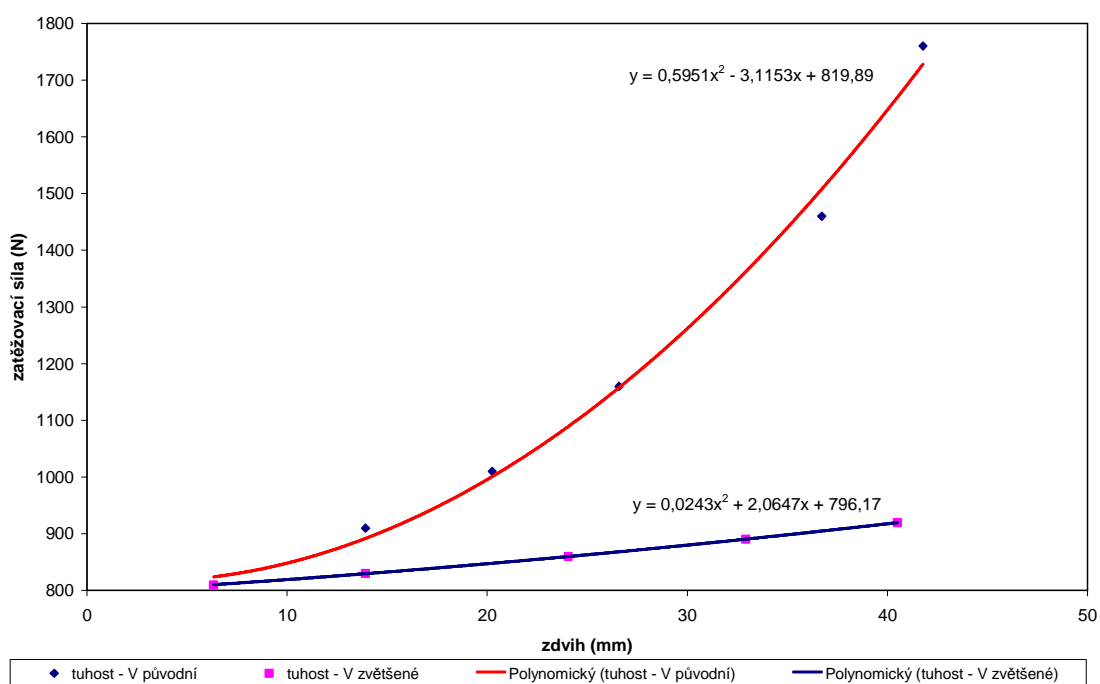
Graf 7: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, nahoře, V+

V dolní zatížené referenční poloze byla hodnota vlastní frekvence kmitání podstavce lehátka (viz graf 8) rovna $f_N = 1,16$ Hz.

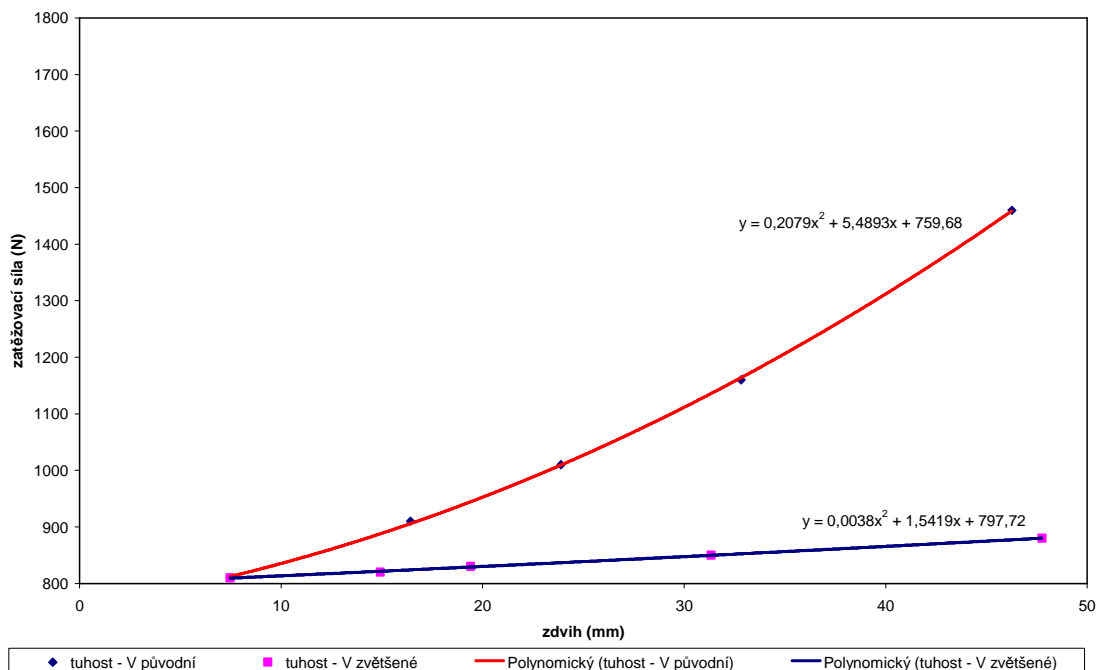


Graf 8: Závislost posuvného zrychlení na čase – zatížené, dole, V+

Získaná hodnota přídatného objemu byla dosazena do rovnice (6.2) a byly provedeny výpočty s postupným zatěžováním a byly získány nové zatěžující charakteristiky pro obě referenční polohy (viz graf 9 a 10).



Graf 9: Zatěžovací charakteristika podstavce lehátka nahoře; před a po optimalizaci



Graf 10: Zatěžovací charakteristika podstavce lehátka dole - před a po optimalizaci

Na uvedených grafech je výrazně vidět, k jakému snížení tuhosti mechanismu podstavce lehátka došlo. Jednotlivými charakteristikami je proložena polynomičká křivka a je u ní uvedena rovnice regresní funkce.

Propojení přídatného objemu a pružiny bude uskutečněno PA/PU potrubím. Mezi objemem pružiny a přídatným objemem bude umístěn ventil, který bude umožňovat otevření, či uzavření propojení mezi oběma objemy. Tím se dosáhne možnosti nastavení dvou režimů provozu, které by se mohly případně přepínat automaticky.

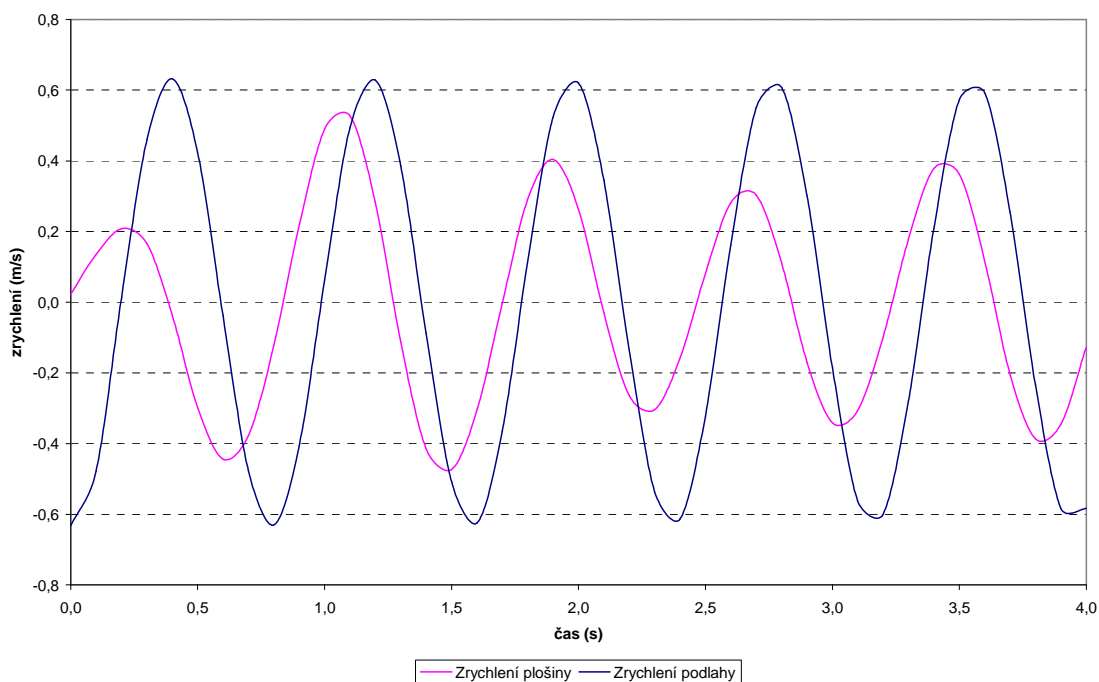
6.2 Nastavení tlumení soustavy

Pro správnou funkci tlumení je, vzhledem k jeho konstrukci, odzkoušená potřebná délka zdvihu alespoň 20 mm. V této aplikaci je zdvih 25 mm, požadavek je tedy splněn.

Navržení správného tlumení u takto komplikované soustavy je obtížné, obzvláště, když se mění převod v závislosti na zdvihu plošiny, zatěžující síla (hmotnost pacienta), budící frekvence není konstantní a v neposlední řadě i sanitní vozidlo je již (většinou) pneumaticky odpružené a v jistých režimech může docházet i k rezonanci.

Z uvedených parametrů je řešen stav rezonance, který je částečně eliminován nastavením nízké hodnoty vlastní frekvence, problém ale může nastat u vyšších harmonických, kdy by k rezonanci mohlo dojít. Tento stav by způsobil kmitání podstavce lehátka „od dorazu k dorazu“. Celý systém vibroizolace by byl v tu chvíli nefunkční, spíše škodlivý a pacientovi by způsobil špatný pocit, nebo nevolnost.

V SW2010 bylo na podlahu pod podstavcem lehátka umístěno buzení, které kmitalo vlastní frekvencí mechanismu podstavce. Tlumení bylo nastaveno tak, že hodnota zrychlení plošiny vůči okolí musí být nižší než hodnota zrychlení rezonančního buzení (viz graf 11).



Graf 11: Průběh zrychlení při rezonanci

Hodnota součinitele tlumení tlumiče byla během analýzy postupně měněna a nejlepší výsledky byly zaznamenány při nastavení na hodnotu $b = 5000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}$. Rychlost pohybu pístu tlumiče během simulace byla $v_{tl} = 0,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

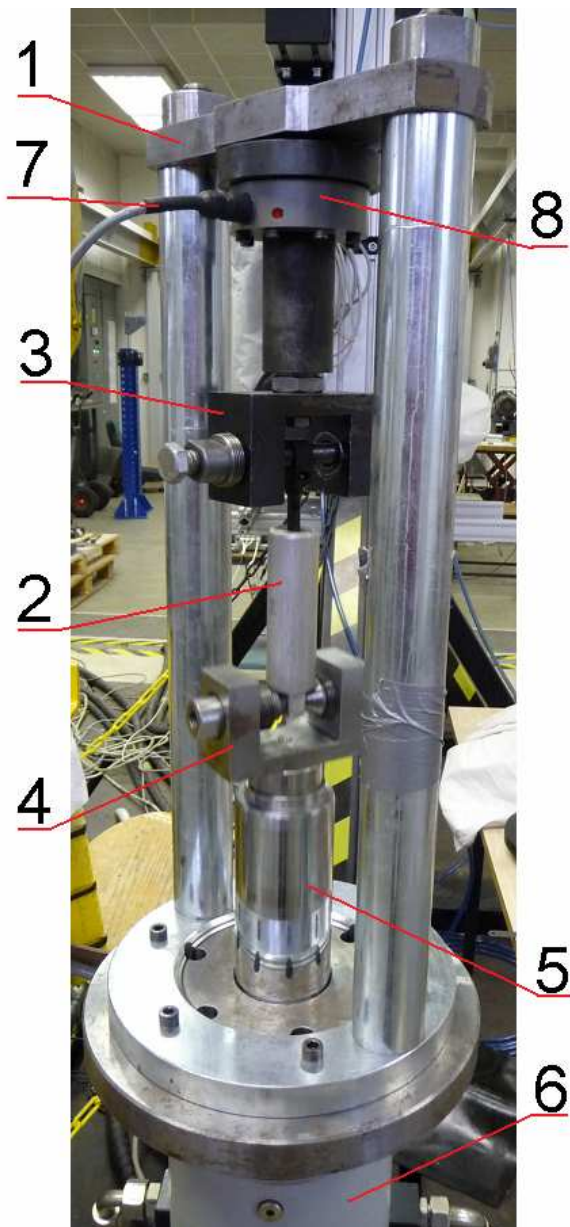
Pro aplikaci byly vybrány dva tlumiče od německého výrobce Suspa. Jejich tlumicí parametry ovšem výrobce neudává. Jsou vyrobeny na zakázku pro firmu GRAMMER AG, což je firma, která se zabývá mimo jiného i výrobou odpružených sedaček do nákladních vozidel a různých pracovních strojů.

Parametry tlumičů byly změřeny v laboratoři TUL ve Vesci. Jejich tuhost lze v určitém rozmezí nastavit. Měření probíhalo u obou tlumičů ve třech polohách (dvě krajní a střed).

Oka tlumiče byla upevněna mezi hroty k rámu a k pístu zkušebního hydraulického válce (viz obr. 26). Píst lineárního hydraulického motoru budil postupně sérii několika kmitů o rychlostech $v_{tl_test} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tenzometr umístěný mezi rámem měřicího zařízení a okem tlumiče měřil průběh síly, který byl zaznamenáván do počítače. Záznam byl následně zpracován do grafů v MS Excel.

Celkem bylo provedeno šest měření, tj. tři měření pro každé nastavení tlumení tlumiče. Z každého měření bylo provedeno pět charakteristik ($v_{tl_test} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Měření při vyšších rychlostech vedlo ke značnému zahřívání tlumiče. Provozní rychlost tlumiče v aplikaci vibroizolačního podstavce je přitom pouze $v_{tl} = 0,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

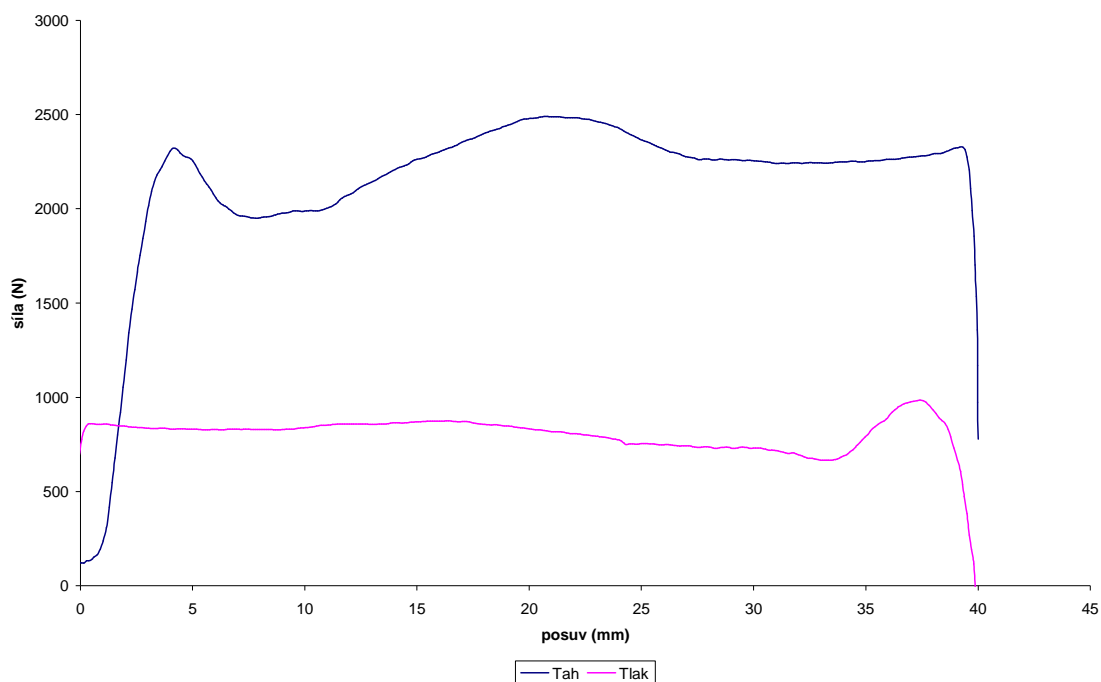
Hodnotě tlumení tlumiče, které vyplynulo ze simulace, odpovídá tlumiči, jehož tlumení se při rychlosti $v_{tl_test} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pohybuje okolo hodnoty $b = 2500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}$. Této hodnotě se nejvíce blíží tlumič s označením: SUSPA 011 00 378, nebo pod označením GRAMMER 700 371.



Obr. 26: Schéma měření tlumení tlumičů

Popis obr. 26: 1. rám, 2. měřený tlumič, 3. uchycení pístu mezi hroty, 4. uchycení válce (těla) tlumiče mezi hroty, 5. píst zkušebního lineárního hydromotoru, 6. tělo zkušebního lineárního hydromotoru s integrovaným snímačem posuvu, 7. datové spojení tenzometru a převodníku, 8. tenzometr.

Jak bylo uvedeno dříve, tlumič je vybaven přepínáním, které umožňuje změnu nastavení hodnoty jeho tlumení. Této vlastnosti lze využít při provozních testech a dosáhnout tím skutečně správného nastavení tlumení. Také lze přepínací páčku propojit např. ovládacím bowdenem s ovládacím prvkem – pákou, jíž by mohla posádka sanitního vozu nastavit intenzitu tlumení podle charakteru vozovky.



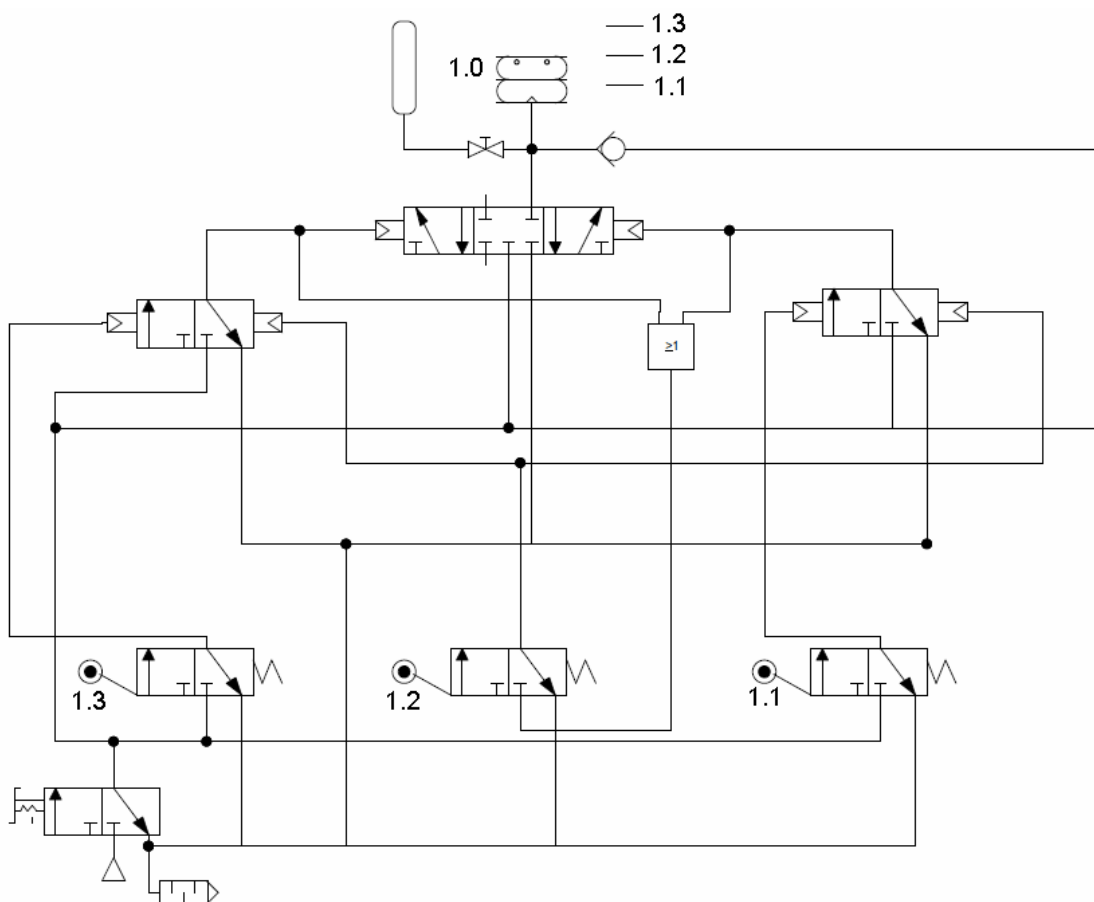
Graf 12: Charakteristika tlumiče SUSPA 011 00378 při rychlosti $v_{tl_test} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

6.3 Řízení nastavení statické výšky

Podstavec lehátka musí automaticky nastavit svou výšku tak, aby byl umožněn pohyb pružiny. Existuje několik možností, jakými lze výšku plošiny nastavovat. Dále je uvedeno několik funkčních variant.

6.3.1 Varianta I

Jde o obvod složený z ventilu 5/3 oboustranně pneumaticky ovládaného, dvou bistabilních ventilů 2/2 oboustranně pneumaticky ovládaných, tří monostabilních ventilů 2/2 mechanicky ovládaných, jednoho 3/2 ventilu ručně ovládaného, jednoho logického členu OR, zpětného ventilu a tlumiče hluku (viz obr. 28).

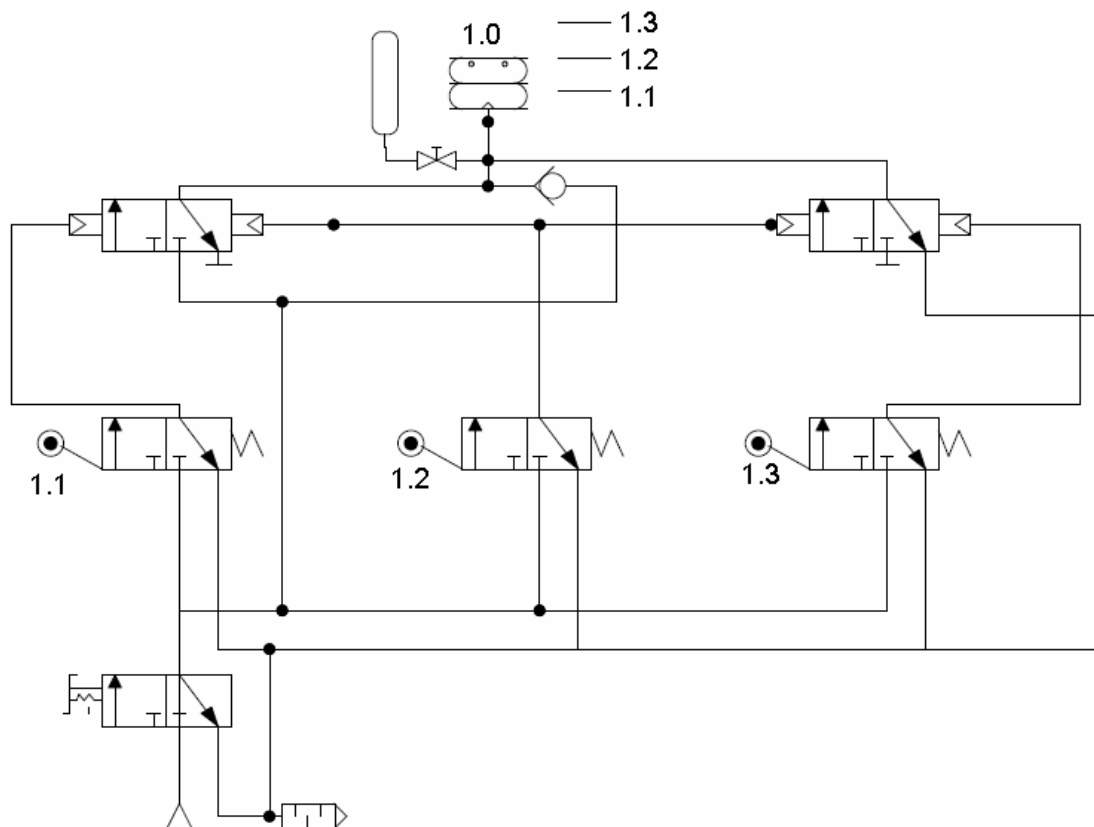


Obr. 27: Varianta I; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny

Jde o plně funkční pneumatický obvod, který byl navržen a odsimulován v programu AUTOSIM PREMIUM. Použití logického členu OR zajistí přívod stlačeného vzduchu do obvodu kladky 1.2 pouze, pokud je vyžadována její funkce, jde o napouštění na statickou výšku a odpouštění stlačeného vzduchu při odlehčení plošiny (pouze při předchozím sepnutí kladky 1.1 nebo 1.3). Kladka 1.2 poté během funkce pružení nezpůsobuje hluk neustálým odpouštěním vzduchu, protože je do ní přívod stlačeného vzduchu uzavřen. Tím se také sníží spotřeba stlačeného vzduchu. Zpětný ventil zajistí, že při uzavření přívodu vzduchu se pneumatická pružina vypustí a rameno se opře o doraz.

6.3.2 Variante II

Funkce tohoto obvodu je stejná jako u předchozí varianty, je jednodušší a levnější, byl zcela zrušen ventil 5/3. Přívod stlačeného vzduchu do kladky 1.2 je trvalý (viz obr. 29). Pomocí logických členů by bylo možné i u této varianty zajistit funkci uzavření přívodu vzduchu do kladky 1.2 (na obr. 29 nezobrazeno), ale vzhledem k počtu prvků je varianta I ekonomicky výhodnější, a proto zde není varianta II s dalšími logickými členy uvedena.



Obr. 28: Varianta II; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny

6.3.3 Varianta III

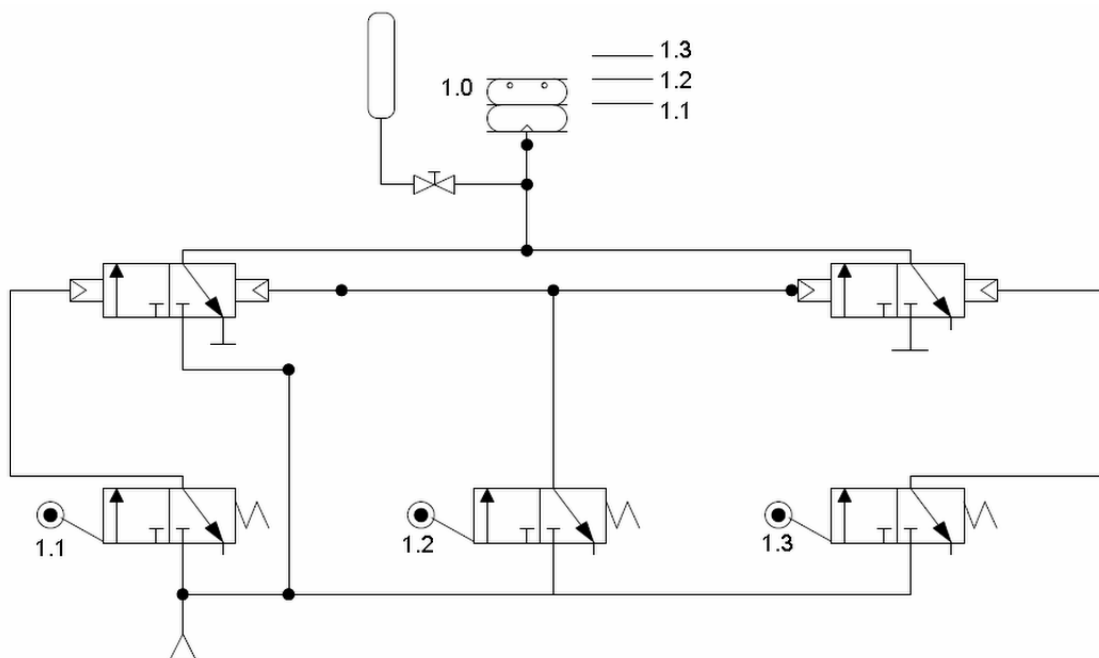
Zapojení, které je použité u prototypu vibroizolačního ramene (viz obr. 29). Jedná se o zjednodušenou variantu II. Není zde žádný logický člen, potrubí vypouštění stlačeného vzduchu a tlumič hluku. Také ventil zap./vyp. zde chybí. Při odpojení přívodu vzduchu zůstane pružina napuštěna vzduchem kvůli absenci logických členů. Vypuštění je nutno provést rozpojením obvodu.

6.3.4 Přívod stlačeného vzduchu

Je několik možností, jakými lze plnit pneumatickou pružinu a podpůrné pneumatické obvody stlačeným vzduchem.

Pokud je odpružení sanitního vozidla řešeno pneumatickým odpružením, musí být vozidlo již vybaveno kompresorovou jednotkou. Pokud se jedná o sanitní vozidlo s běžně odpruženým podvozkem, musí být pro toto vibroizolační uložení vybaveno některým z následujících zařízení:

- nádoba se stlačeným vzduchem
- kompresorová jednotka
- tlaková nádoba se stlačeným dusíkem
- kompresor přímo spojený s pružinou (řízení nastavení výšky elektronicky)
- ...



Obr. 29: Varianta III; zapojení pneumatického obvodu pro nastavení výšky pružiny



7 Ekonomické zhodnocení

Většina součástí vibroizolačního ramene musela být pro tyto účely navržena a vyrobena na zakázku. Ovšem jedná se o plechové díly vypálené na laseru a rotační díly jako pouzdra pro ložiska, čepy a rozpěrné trubky, které lze bez problémů vyrobit na běžném konvenčním soustruhu. Náklady na tento materiál jsou zanedbatelné. Nabídka dodavatelské firmy, která bude vyrábět tyto díly pro prototyp, je kolem 3000 Kč.

Finančně náročnější jsou prvky vlastní vibroizolace: pneumatická pružina, kterou dodává firma RUBENA a.s. je nabízena za 1800 Kč, pneumatické prvky pro řízení funkce vibroizolace jsou v ceně 5500 Kč včetně propojovacích hadic a spojek. Tlumič německého výrobce Suspa lze koupit za 4275 Kč. Sváření a montáž přijde na 600 Kč. Povrchovou úpravu lze provést za 1500 Kč. Celková cena prototypu je tedy 16675 Kč bez DPH. Předpokládá-li se sériová výroba, lze dosáhnout nižší ceny při zvýšeném odběru polotovarů a dílů.



8 Závěr

Konstrukční parametry podstavce lehátka, které je v současné době vyráběno a dodáváno výrobcem Progres servis Sibřina spol. s.r.o., byly početně a za pomoci softwaru SolidWorks 2010 Premium s modulem Motion Analysis analyzovány. Detailněji byly zkoumány parametry vibroizolačního ramene, které bylo navrženo v první etapě vývoje vibroizolace podstavce. Tento koncept se ukázal jako funkční a k účelům snížení vibrací přenášených na pacienta přepravovaného sanitním vozem správný. Konstrukce samotná byla však nevhodná. Nosnost byla malá, rozložení zatížení vycházející z ramene a lineárního hydromotoru bylo nesymetrické, tlumení nebylo vůbec řešeno, montáž ramene podle konstrukčního návrhu by prostorově omezovala dolní polohu podstavce, docházelo by ke kolizím se segmenty, které aretují boční pohyb podstavce atp.

Byl sestaven mechanický model první etapy vývoje v obecné poloze, zobrazeny a popsány referenční polohy podstavce lehátka, ve kterých by měla být umožněna funkce vibroizolace.

Po rozboru první etapy vývoje mechanického modelu byly sepsány požadavky na zařízení a metodami inovačního inženýrství byly vyzdvíženy ty nejdůležitější, ke kterým se bude přizpůsobovat další vývoj. Bylo navrženo několik možných variant řešení, vybrána byla ta, která nabízela nejmenší kompromisní řešení vzhledem k požadavkům vyplývajícím z QFD.

Vítězná varianta nabízí dodatečnou montáž vibroizolačního mechanismu do ramene. Podstavec lehátka může být zakoupen bez vibroizolace a následně ho lze bez výrazných problémů o ni rozšířit. Zatížení všech částí mechanismu je díky posunutí pneumatické pružiny ke konci ramene symetrické, nemusí být proto použito drahých ložiskových pouzder, která jsou při nesymetrických uloženích prostorově náročná. Díly mohou být dimenzovány na menší namáhání.

Výpočet dynamických a tlumících parametrů se prolíná s analýzou soustavy v softwaru SolidWorks 2010 Premium. Využití zmíněného softwaru s modulem Motion Analysis umožňuje velmi rychlou kontrolu výpočtů. Výstupem analýzy jsou grafy, které jsou součástí této DP, na nichž je zřetelně vidět vysoká vibroizolační schopnost takto navrženého podstavce. Nasazení simulačního programu má značné výhody v časových úsporách. Některé aplikace by musely být bez použití simulačního programu odzkoušeny na prototypu, což by mimo jiné značně zvýšilo náklady vývoje.

Uvedená konstrukční varianta pružícího podstavce sanitního lehátka má vysokou vibroizolační schopnost při rozmanitých provozních režimech a dává tedy předpoklad výše zmíněné požadavky účinně plnit. Dále nabízí možnost záchranné služby zakoupit podstavec bez vibroizolace a ten později modifikovat.

Fotodokumentace vyrobeného prototypu není z důvodu vytíženosti dodavatele laserem vyráběných polotovarů k dispozici. Prototyp bude vyroben po termínu odevzdání diplomové práce.



Seznam použité literatury

- [1] *Progres Servis Sibřina* [online]. 2010 [cit. 2011-03-04]. Profil společnosti. Dostupné z WWW: <http://www.progressibrina.cz/home>
- [2] MAŠÍN, Ivan Doc., Dr., Ing.; ŠEVČÍK, Ladislav Prof. Ing., CSc. *METODY INOVAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ: 2. Metody pro plánování inovace výrobku*. První vydání. Liberec : Institut technologií a managementu, 2006. 171 s.
- [3] Kinematika robotických systémů. *Brožura 06/1102* [online]. 18.2.2011, 06/1102, [cit. 2011-03-06]. Dostupný z WWW: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_06_1102.pdf
- [4] BRADSKÝ, Zdeněk Ing.; VRZALA, Rudolf Ing.. *MECHANIKA III (Dynamika): 8.2 Pohybová energie*. První vydání. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1980. 251 s.
- [5] BRADSKÝ, Zdeněk Ing.; VRZALA, Rudolf Ing.. *MECHANIKA III (Dynamika): 11.3 Metoda redukce hmotových a silových veličin*. První vydání. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1980. 251 s.
- [6] *www.dunlopsystems : Air Spring Documents* [online]. 2009 [cit. 2010-07-04]. Dostupné z WWW: <https://sites.google.com/site/dunlopsystems/documents>.
- [7] PEŠÍK, Lubomír Prof., Ing., CSc. *ČÁSTI STROJŮ – 1. DÍL: 2.3.5. Pneumatické pružiny*. Druhé vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. 191 s.



Seznam příloh

Příloha 1:.....	Soupis úkolů Ganttova diagramu
Příloha 2:.....	Ganttův diagram
Příloha 3:.....	Afinní diagram
Příloha 4:.....	FMEA formuláře
Příloha 5:.....	Fyzikální vlastnosti vibroizolačního ramene – Varianta E
Příloha 6:.....	Fyzikální vlastnosti naklápečího ramene
Příloha 7:.....	Fyzikální vlastnosti plošiny
Příloha 8:.....	Výpočet redukované hmoty
Příloha 9:.....	Výkres sestavy
Příloha 10:.....	CD